

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 624.04.45.001.3

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ
ЭНЕРГОБЛОКА № 3 РОСТОВСКОЙ АЭС

© 2015 г. В.Н. Медведев*, Александр С. Киселев*, Алексей С. Киселев*,
А.Н. Ульянов*, В.Ф. Стрижов*, А.А. Сальников**

* Институт проблем безопасного развития атомной энергетики, Москва

** Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская АЭС», г. Волгодонск, Ростовская обл.

В работе приводится оценка напряженно-деформированного состояния защитной оболочки энергоблока № 3 Ростовской АЭС с момента окончания преднапряжения до начала приемо-сдаточных испытаний.

Ключевые слова: защитная оболочка, АЭС, арматурные канаты, бетон, напряжения, усилия.

Поступила в редакцию 11.05.2015

ВВЕДЕНИЕ

Основными воздействиями, формирующими напряженно-деформированное состояние (НДС) защитной оболочки в период приемо-сдаточных интегральных испытаний оболочки на прочность и плотность избыточным давлением являются:

- собственный вес железобетонной защитной оболочки;
- усилия от предварительного напряжения арматурных канатов СПЗО;
- избыточное давление под оболочкой;
- распределение температуры по толщине стенки оболочки, обусловленное колебанием температур внутри и снаружи сооружения.

Оценка эксплуатационной пригодности сооружения выполнялась в соответствии «Программой натуральных наблюдений за защитной оболочкой энергоблока №3 Ростовской АЭС в период возведения, преднапряжения, приемо-сдаточных испытаний и эксплуатации» [Л. 1]. При этом использовались проектные критерии оценки НДС в период приемо-сдаточных испытаний защитной оболочки внутренним избыточным давлением:

- измеренные величины приращений растягивающих напряжений в бетоне от избыточного давления не должны превышать соответствующих величин приращения сжимающих напряжений от преднапряжения оболочки по абсолютной величине;
- совместность работы продольной стержневой арматуры и бетона оболочки (равенство деформаций бетона и стержневой арматуры);
- упругая работа защитной оболочки (пропорциональность изменения приращений измеряемых напряжений в стержневой арматуре и относительных деформаций бетона от изменения избыточного давления);
- величина растягивающих напряжений в стержневой арматуре в моментных зонах не должна превышать R_s в продольной и R_{sw} в поперечной арматуре;
- ширина раскрытия поверхностных трещин на наружной поверхности бетона оболочки после сброса давления не должна превышать 0,3 мм [Л. 2];
- отсутствие зафиксированного разрушения строительных конструкций (деталей СПЗО, облицовки бетона) защитной оболочки и ее связей с внутренним оборудованием.

1 ОЦЕНКА НДС ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ В ПЕРИОД ПРИЕМО-СДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Оценка НДС защитной оболочки в период приемо-сдаточных испытаний произведена по следующим данным:

- по показаниям датчиков контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), установленных в защитной оболочке 3-го энергоблока Ростовской АЭС в период строительства;

- по показаниям датчиков силы ПСИ-01, установленных на анкерах армоканатов системы преднапряжения защитной оболочки;

- по результатам измерений перемещений стенки защитной оболочки при помощи датчиков типа ПЛПС, установленных в средней части цилиндра защитной оболочки на отметке 36,9 м;

- по результатам измерений геометрических параметров защитной оболочки геодезическими методами;

- по результатам измерения температуры внутри и снаружи защитной оболочки энергоблока, включая температуру на поверхности бетона и окружающей среды.

- по результатам визуального контроля наличие трещин на поверхности бетона.

Приемо-сдаточные испытания защитной оболочки 3-го энергоблока Ростовской АЭС проводились с 08.08.2014 по 14.08.2014 года.

График изменения давления в защитной оболочке в период приемо-сдаточных испытаний на прочность и герметичность приведен на рисунке 1.

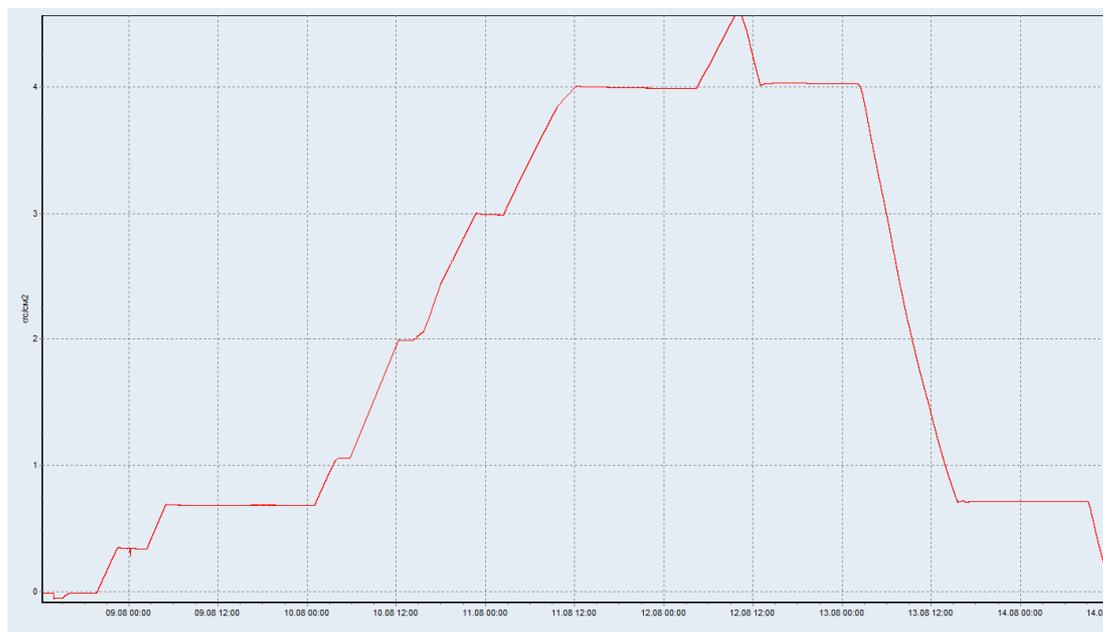


Рис. 1. – График изменения давления (кг/см²) в защитной оболочке в период приемо-сдаточных испытаний на прочность и герметичность

1.1 ОЦЕНКА НДС ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ПО ПОКАЗАНИЯМ ДАТЧИКОВ КИА

Оценка НДС защитной оболочки приводилась по показаниям датчиков, установленных в защитной оболочке 3-го энергоблока Ростовской АЭС, представленных в виде графиков изменения напряжений в стержневой арматуре,

деформаций в бетоне и температуры в зависимости от времени.

В подавляющем большинстве случаев показания приборов после снятия нагрузки возвращались в исходное состояние, а максимальные показания соответствовали максимальной нагрузке (рисунки 2-3). Исключение составляли приращения показаний приборов, располагаемых в особых точках конструкции, где за счет моментных составляющих действующих усилий происходили неупругие деформации. Главным образом в цилиндрической части, на отметках близких к опорному кольцу и к основанию цилиндра, а в купольной части в зонах, располагаемых на радиусах 6 и 12 метров от оси оболочки (рисунок 4).

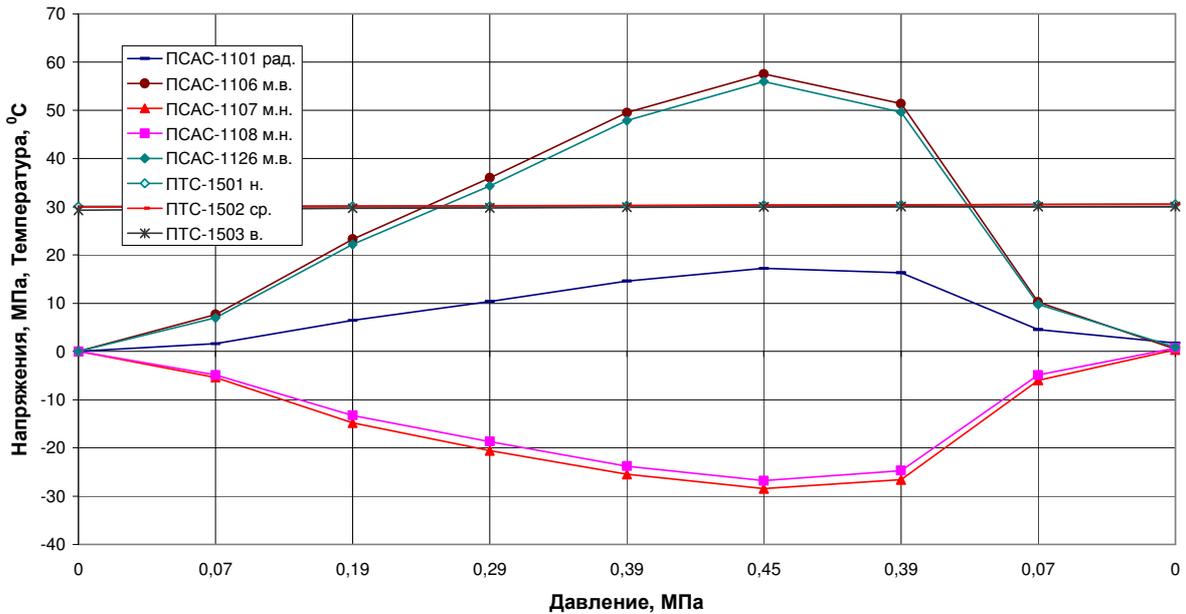


Рис. 2. – Приращение напряжений в меридиональной стержневой арматуре и измерения температуры в бетоне в период прямо-сдаточных испытаний защитной оболочки, створ №1, отметка 13,2 м

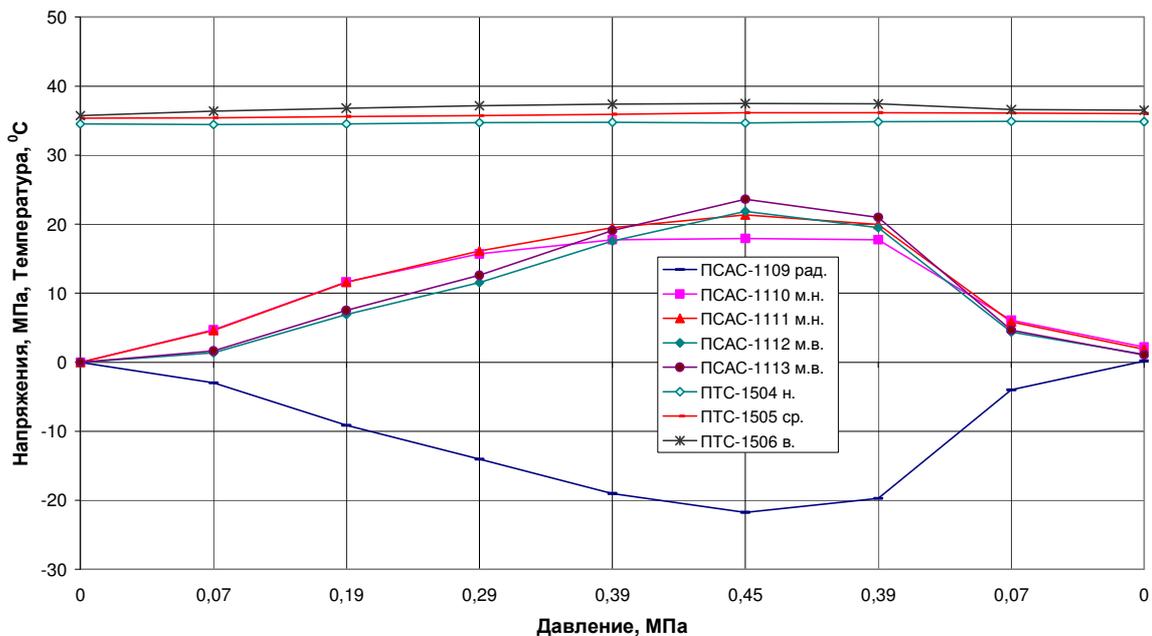


Рис. 3. – Приращение напряжений в меридиональной стержневой арматуре и измерения температуры в бетоне в период прямо-сдаточных испытаний защитной оболочки, створ №1, отметка 32,6 м

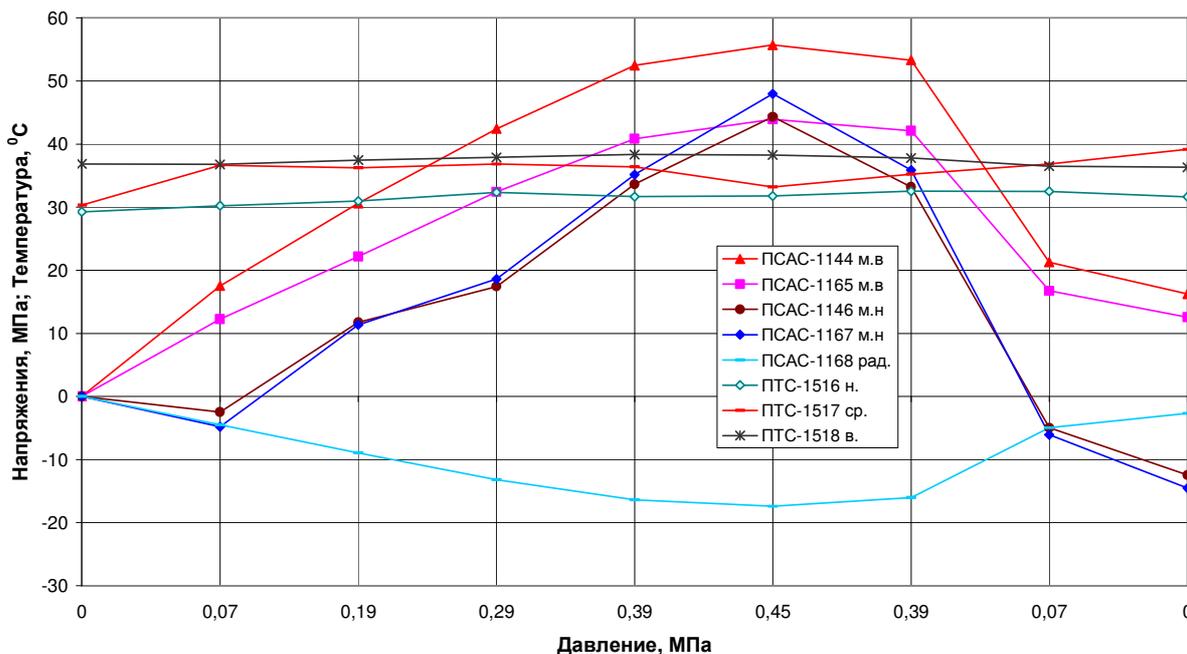


Рис. 4. – Приращение напряжений в меридиональной стержневой арматуре и измерения температуры в бетоне в период прямо-сдаточных испытаний защитной оболочки, створ №1, купол, R=6 м

Таким образом, характер приращений напряжений в стержневой арматуре в период прямо-сдаточных испытаний защитной оболочки показал, что конструкция работает в упругой стадии, т.к. после снятия нагрузки показания приборов возвращаются в исходное нулевое состояние. Это позволяет утверждать, что защитная оболочка удовлетворяет проектным критериям оценки НДС в период прямо-сдаточных испытаний.

Поскольку после снятия нагрузки от внутреннего давления показания приборов возвращаются в исходное нулевое состояние, можно говорить о совместности работы продольной стержневой арматуры и бетона оболочки (равенство деформаций бетона и стержневой арматуры).

1.2 ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ УСИЛИЙ В АРМОКАНАТАХ СПЗО ПО ПОКАЗАНИЯМ ДАТЧИКОВ СИЛЫ ПСИ-01

Результаты измерений усилий в армоканатах защитной оболочки при испытаниях на герметичность и прочность показали:

- датчики силы ПСИ-01 работали стабильно, что свидетельствует о надежной работе;
- отсутствуют отказы в работе армоканатов СПЗО, что свидетельствует об их надежности;
- практически отсутствуют изменения усилий на тяжных анкерах армоканатов в зависимости от величины внутреннего давления в защитной оболочке, поскольку действуют силы трения покоя между армоканатом и каналообразователем и отсутствуют изменения геометрии оболочки в прианкерной зоне.

В качестве примера в таблице № 1 приведены результаты измерений усилий в отдельных армоканатах купола защитной оболочки при испытаниях на герметичность и прочность.

Таблица 1. – Результаты измерений усилий в отдельных армоканатах купола защитной оболочки при испытаниях на герметичность и прочность

№ Армоканата	Дата 08.08.14, давление 0,0 МПа Усилие, тс	Дата 10.08.14, давление 0,07МПа Усилие, тс	Дата 10.08.14, давление 0,19МПа Усилие, тс	Дата 10.08.14, давление 0,29МПа Усилие, тс	Дата 11.08.14, давление 0,39МПа Усилие, тс	Дата 12.08.14, давление 0,45МПа Усилие, тс	Дата 13.08.14, давление 0,39МПа Усилие, тс	Дата 13.08.14, давление 0,07МПа Усилие, тс	Дата 14.08.14, давление 0,0 МПа Усилие, тс
К-5А	865,1	863	864,7	864	864,4	864,3	863,2	864,2	865,2
К-10Б	818,8	815,9	818	816,2	817,5	817,3	816	817,4	819,7
К-11А	829,7	827	830,4	827,4	829	828,3	826,7	828,8	831,7
К-12Б	803,8	801,2	804,4	802	803,5	802,6	801,4	803	806,8
К-13А	831,7	828,9	833	829,7	831,5	830,1	828,6	831,6	834,7
К-14А	850,9	848,4	851,6	849,2	850,7	849,4	848,3	850,4	853,1
К-14Б	841,4	838	841,2	838,4	840,4	839,9	838	840,1	842,8
К-15А	844,5	840,9	844,9	841,4	843,7	842,7	841	843,9	846,6
К-16Б	813	809	813,8	809,6	812	810,8	808,7	812,3	815

1.3 ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ПО ПОКАЗАНИЯМ ПЛПС

В период прямо-сдаточных испытаний защитной оболочки энергоблока № 3 Ростовской АЭС перемещения измерялись двумя независимыми методами: при помощи 12 датчиков типа ПЛПС, установленных в средней части цилиндра защитной оболочки, на отметке 36,9 м. и геодезическими методами.

По результатам показаний датчиков ПЛПС в период прямо-сдаточных испытаний защитной оболочки построены графики измерения перемещений стенки сооружения в радиальном направлении на отметке 36,9 м в створах № 1-4.

Выполненная оценка измерений перемещений стенки защитной оболочки в период прямо-сдаточных испытаний показала, что все 12 датчиков ПЛПС находятся в работоспособном состоянии, в каждом створе наблюдается хорошая сходимость полученных результатов.

При максимальной величине внутреннего давления, равной 0,45 МПа, максимальные перемещения зафиксированы в первом створе и составляют 8,23 мм (см. рисунок 5).

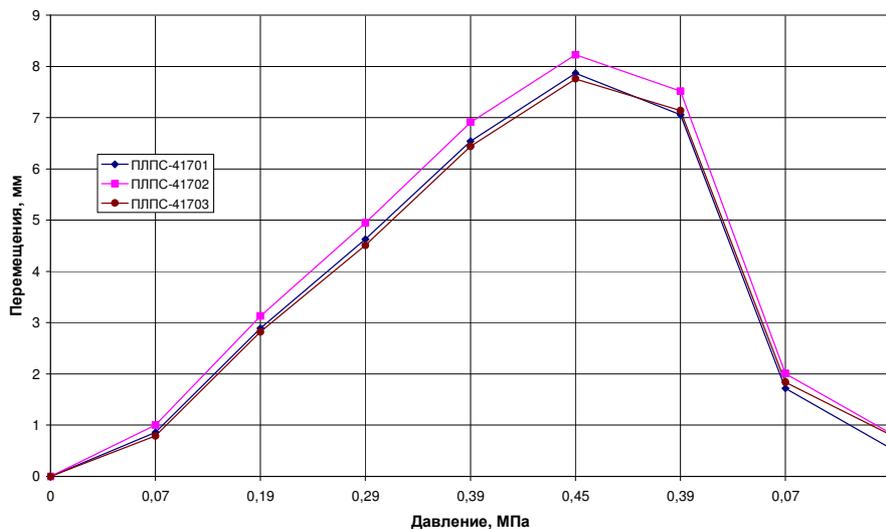


Рис. 5. – Приращения перемещений стенки защитной оболочки в период прямо-сдаточных испытаний, отметка 36,9 м, створ №1

В таблице 2 приведены средние перемещения стенки от обжатия защитной оболочки, определенные по показаниям трех датчиков ПЛПС в каждом створе, где можно видеть, что перемещения защитной оболочки от предварительного напряжения значительно выше перемещений при воздействии максимального испытательного внутреннего давления, равного 0,45 МПа. При этом максимальные превышения радиальных перемещений к оси оболочки наблюдаются в третьем створе и составляют -5,72 мм или 44,14%, минимальные – во втором створе -2,14 мм или 22,46%.

Учитывая, что измеренные величины приращений перемещений в защитной оболочке от преднапряжения значительно превышают соответствующие величины приращения перемещений от избыточного испытательного давления, защитная оболочка удовлетворят проектным критериям оценки НДС в период приемо-сдаточных испытаний.

Таблица 2. – Средние перемещения стенки защитной оболочки при воздействии преднапряжения и максимального испытательного внутреннего давления

№ створа	Средние перемещения от обжатия оболочки, мм	Средние перемещения при давлении 0,45 МПа, мм	Превышение перемещений от обжатия оболочки	
			мм	%
1	-10,7	7,95	-2,75	25,70
2	-9,53	7,39	-2,14	22,46
3	-12,96	7,24	-5,72	44,14
4	-12,15	7,22	-4,93	40,58

1.4 ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В период приемо-сдаточных испытаний выполнялись работы по измерению геометрических параметров защитной оболочки геодезическими методами.

На рисунке 6 приведены графики измеренных значений радиальных перемещений цилиндрической части защитной оболочки, расположенной выше обстройки на отметках 47, 48 и 50 м, створ № 4. На рисунке 7 приведены графики измеренных значений перемещений купольной части защитной оболочки.

Результаты измерений показывают, что максимальные перемещения от воздействия испытательного внутреннего давления в средней части купола не превышают 10 мм, что фактически в два раза меньше аналогичных перемещений при преднапряжении защитной оболочки. Следовательно, проектный критерий оценки НДС о превышении сжимающих перемещений защитной оболочки от преднапряжения над растягивающими перемещениями от испытательного внутреннего давления выполняется.

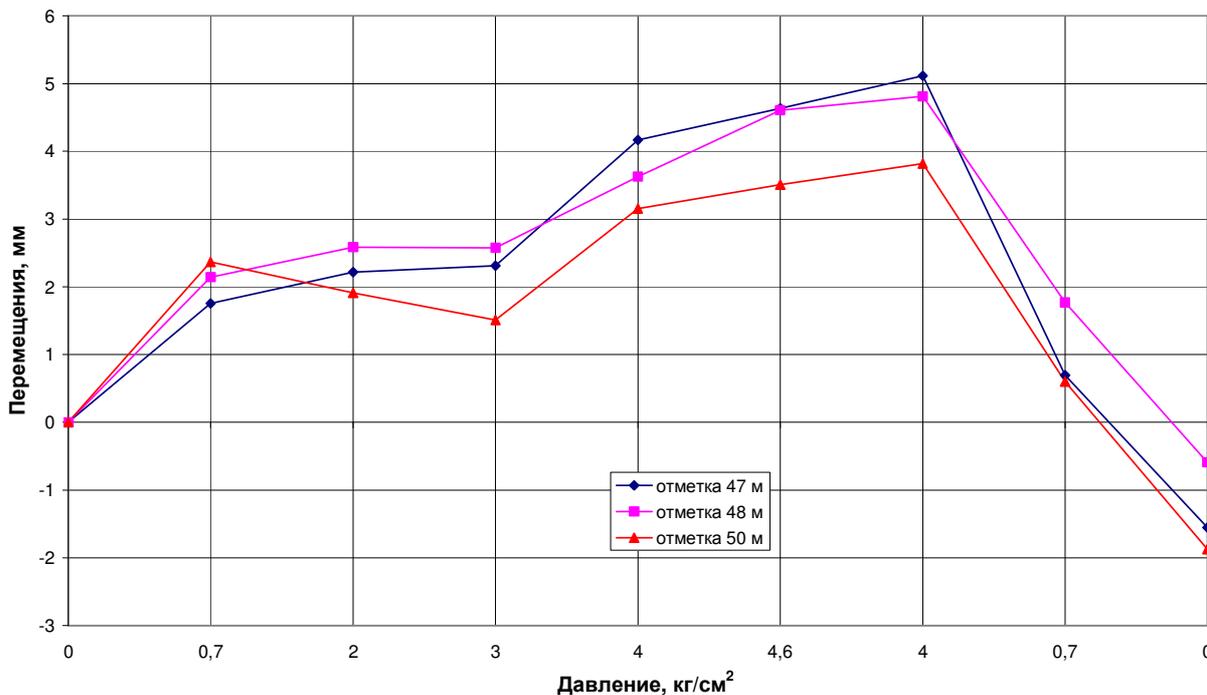


Рис. 6. – Приращения перемещений стенки защитной оболочки в период приемо-сдаточных испытаний, отметка 47,0, 48,0 и 50 м, створ №4

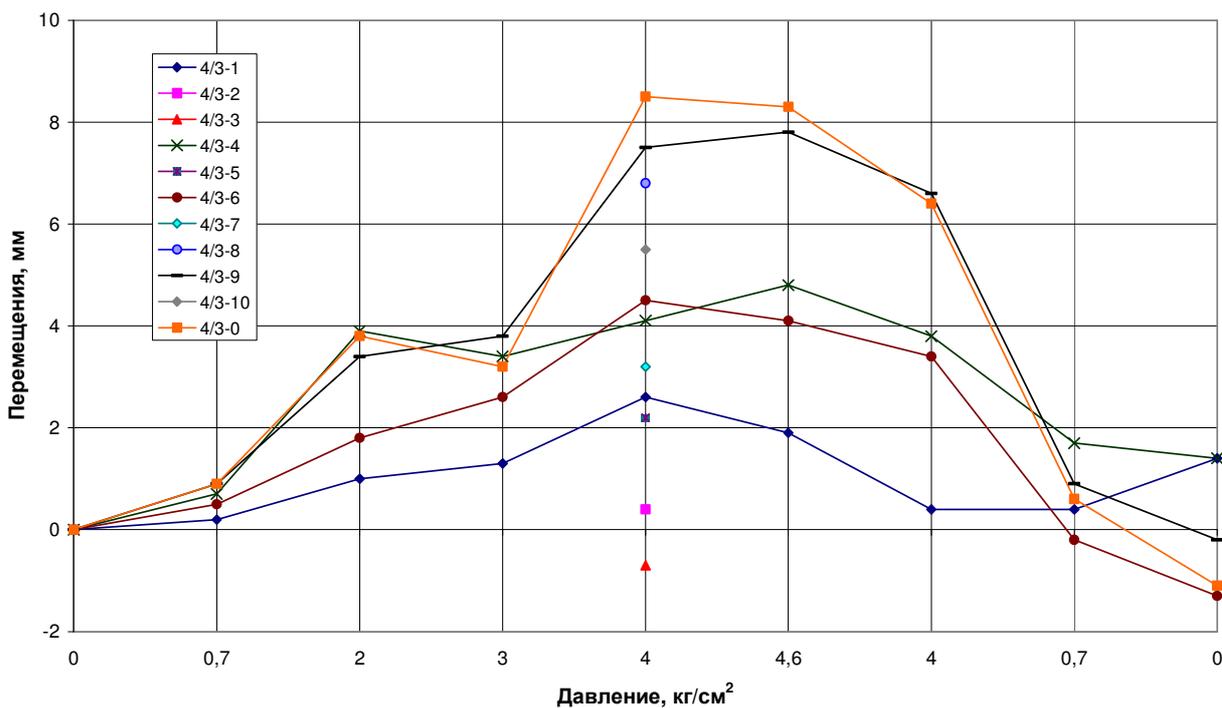


Рис. 7. – Приращения перемещений купола защитной оболочки в период приемо-сдаточных испытаний, створ № 4/3

1.5 РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ В ПЕРИОД ПРИЕМО-СДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Приведены результаты измерения температуры внутри и снаружи защитной оболочки энергоблока № 3 Ростовской АЭС в период приемо-сдаточных испытаний, включая температуру на поверхности бетона и окружающей среды (см. таблицу № 3).

Эти результаты использованы в уточняющих расчетах напряженно-деформированного состояния защитной оболочки от воздействия нагрузок, действующих в период приемосдаточных испытаний. При этом на внутренней поверхности стены защитной оболочки температура измерялась на отметке 36 и 45 м, а снаружи – на отметке 46 м.

Таблица 3. – Результаты измерения температуры внутри и снаружи защитной оболочки в период приемосдаточных испытаний

Дата	Время	Температура внутри оболочки						Температура снаружи оболочки					
		Отм., м.	Т воз. °С.	Т пов. бетона в створах, °С				Отм., м.	Т воз. °С.	Т пов. бетона в створах, °С			
				1	2	3	4			1	2	3	4
08.08.14	08:00	36	40	39	37	39	37	46	30	25	27	33	29
		45		38	37	38	37			29	32	38	30
08.08.14	12:00	36	39	39	39	40	38	46	32	29	32	38	30
		45		39	39	39	37			32	38	30	
08.08.14	16:00	36	38	38	39	39	38	46	37	30	34	39	30
		45		39	39	39	37			30	34	39	30
08.08.14	20:00	36	36	39	39	39	38	46	32	32	32	36	30
		45		39	40	39	40			32	32	36	30
08.08.14	24:00	36	36	38	38	39	39	46	30	31	31	34	29
		45		39	39	39	39			31	31	34	29
09.08.14	04:00	36	34	37	38	38	37	46	24	29	28	30	26
		45		38	39	39	39			29	28	30	26

Температура в бетоне защитной оболочки определялась по средней величине температуры в защитной оболочке, а также по показаниям датчиков типа ПТС (преобразователей температуры струнных), установленных на теле защитной оболочки.

В начале испытаний средняя температура внутри оболочки составляла порядка 37 °С, постепенно увеличиваясь к моменту достижения максимального давления (0,45 МПа) до 39 °С, после чего наблюдалось снижение температуры. На завершающем этапе испытаний температура снизилась до 34 °С.

В период приемосдаточных испытаний защитной оболочки по показаниям датчиков ПТС минимальная температура наблюдалась вблизи основания, на отметке 13,2 м, и составляла 29 °С. В средней части цилиндра, на отметке 32,6 м, температура составляла 32÷39 °С. При этом, минимальная температура зафиксирована вблизи створа № 3, а максимальная – вблизи створа № 2. В купольной части оболочки максимальная температура бетона составляла 39 °С.

2 СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ И ИЗМЕРЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ НДС ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ В ПЕРИОД ПРИЕМО-СДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ

2.1 ОПИСАНИЕ ДЕТАЛЬНОЙ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ЭНЕРГОБЛОКА № 3 РОСТОВСКОЙ АЭС

На рисунке 8 представлен общий вид объемной конечно-элементной расчетной модели защитной оболочки 3-го энергоблока Ростовской АЭС, разработанной для анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) ЗО, включающей 188532 объемных конечных элемента, 208716 узлов (более 600000 степени свободы) и около 68000 стержневых конечных элементов (моделирующих стержневую арматуру).

Нагрузка от каждого каната вычисляется отдельно с учетом его геометрии, усилия натяжения и потерь всех видов (анкеровка, трение, релаксация и др.) [Л. 3].

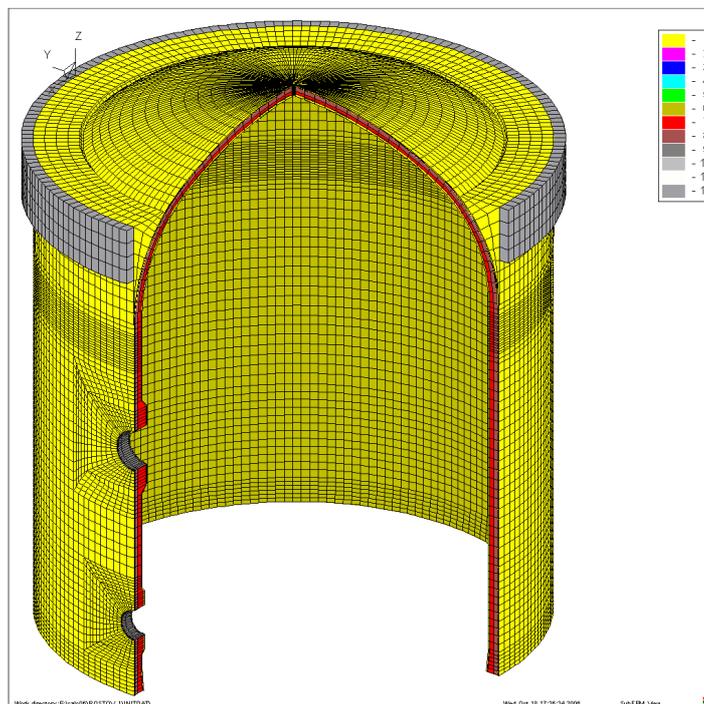


Рис. 8. – Конечноэлементная модель 30 третьего энергоблока Ростовской АЭС

На рисунке 9 показано распределение интенсивности нагрузки по срединной поверхности модели оболочки, которое соответствует проектной трассировке напрягаемых канатов. Главные оси защитной оболочки соответствуют следующим углам относительно вертикальной оси модели: I – 160° , II – 250° , III – 340° , IV – 70° . Створы КИА соответствуют следующим углам относительно вертикальной оси модели: I – 140° , II – 230° , III – 320° , IV – 50° . Угол 0° в модели соответствует углу оси крупных проходок ($R=3$ м и $R=4$ м).

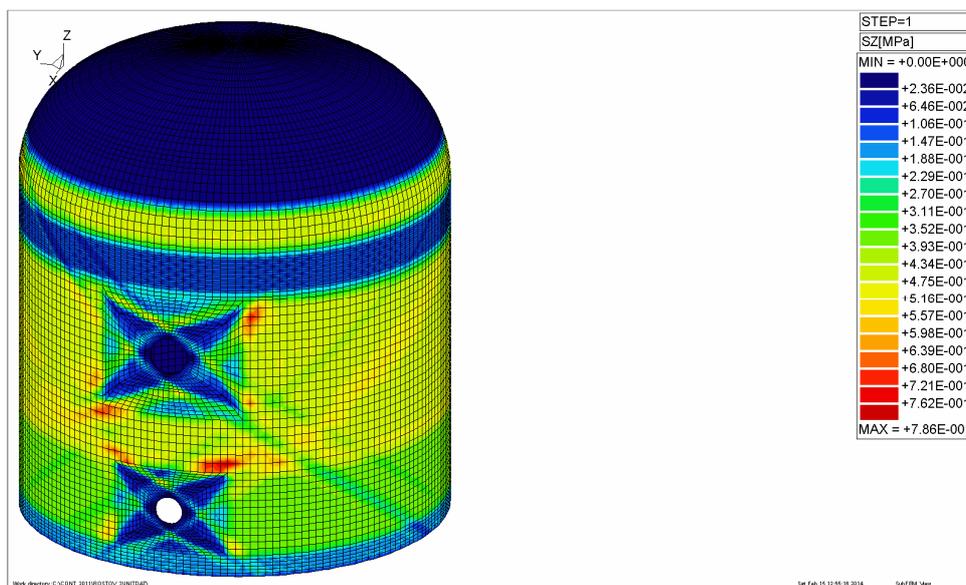


Рис. 9. – Распределение интенсивности нагрузки по срединной поверхности модели оболочки

При рассмотрении деформирования железобетонных строительных конструкций при высоких уровнях нагружения необходимо учитывать нелинейные эффекты работы бетона, связанные с образованием микро и макро трещин в бетоне. В алгоритме ПК CONT (паспорт аттестации № 347 от 21 ноября 2013 года), использованном в данной работе для расчета НДС ЗО 3-го блока Ростовской АЭС, данные эффекты учитываются на основе ортотропной модели бетона, которая базируется на предположении, что бетон работает по направлениям главных напряжений или главных деформаций, с которыми совпадают оси ортотропии. Основы теории изложены, например, в монографии Н.И. Карпенко [Л. 4].

2.2 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НДС ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ЭНЕРГОБЛОКА №3 РОСТОВСКОЙ АЭС ПЕРЕД ПРИЕМО-СДАТОЧНЫМИ ИСПЫТАНИЯМИ

Приведены результаты расчетов НДС защитной оболочки 3-го блока Ростовской АЭС в период приемо-сдаточных испытаний в процессе приложения испытательного давления с учетом действующих на этот период времени усилий в армоканатах СПЗО и температур окружающей среды. Расчеты проводились в нелинейной постановке для достижения лучшего соответствия расчетных и экспериментальных данных.

Определено деформированное состояние и распределения меридиональных и окружных напряжений в бетоне на внешней поверхности защитной оболочки в процессе ее ступенчатого испытательным давлением от 0,07 до 0,45 МПа. Изменение формы ЗО показано в увеличенном масштабе (с умножением перемещений узлов модели на 200).

Можно отметить, что за исключением локальных областей на куполе бетон защитной оболочки работает в состоянии двухосного сжатия, что обеспечивает ее работоспособность даже при максимальной испытательной нагрузке (рисунок 10).

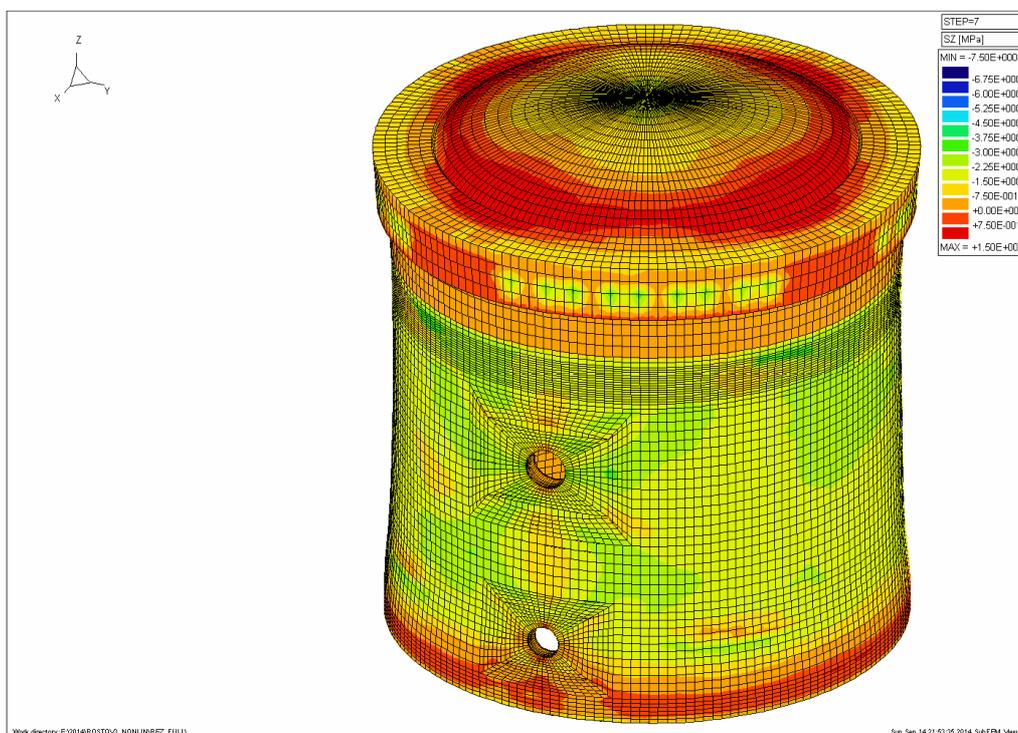


Рис. 10. – Распределение меридиональных напряжений [МПа] на внешней поверхности защитной оболочки при воздействии испытательного давления $P=0,45$ МПа

В таблице 4 приведено сравнение расчетных и измеренных значений перемещений стенки защитной оболочки при воздействии преднапряжения и максимального испытательного внутреннего давления на отметке 36,9 м. Можно отметить хорошее соответствие расчетных и экспериментальных результатов.

Таблица 4. – Сравнение расчетных и измеренных значений перемещений стенки защитной оболочки при воздействии преднапряжения и максимального испытательного внутреннего давления на отметке 36,9 м

№ створа	Приращения радиальных перемещений стенки оболочки от обжатия, мм Измеренные/расчетные	Приращения радиальных перемещений стенки оболочки при давлении 0,45 МПа, мм Измеренные/расчетные
1	-10,7 / -9.8	7,95 / 7.6
2	-9,53 / -9.62	7,39 / 6.9
3	-12,96 / -12.4	7,24 / 7.1
4	-12,15 / -12.6	7,22 / 6.8

Анализ полученных результатов показал, что расчетные значения перемещений и параметров напряженно-деформированного состояния защитной оболочки энергоблока № 3 Ростовской АЭС при ее преднапряжении и в процессе приемо-сдаточных испытаний качественно и количественно соответствуют измеренным. Максимумы и знаки растягивающих и сжимающих напряжений располагаются в тех же зонах, где они определены и при измерениях.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

Перед испытаниями и в процессе испытаний защитной оболочки выполнялся визуальный контроль с целью выявления трещин в бетоне и их параметров [Л. 5].

Измерения производились с помощью микроскопа измерительного МПБ-3 и лупы измерительной ЛИ-3-10^X.

Полученные результаты показали, что ширина раскрытия трещин на наружной поверхности бетона оболочки при воздействии испытательного внутреннего давления и после сброса давления не превышала 0,3 мм, что удовлетворяет нормативным требованиям действующей нормативной документации [Л. 2].

ВЫВОДЫ

1) На основе результатов расчета и измерения параметров НДС строительных конструкций защитной оболочки с помощью КИА АСК НДС, контроля усилий натяжения армоканатов СПЗО с помощью гидродомкратов и с учетом показаний датчиков ПСИ-01 СКУ, измерения геометрических параметров защитной оболочки геодезическими методами и их анализа установлено, что эксплуатационная пригодность защитной оболочки энергоблока № 3 Ростовской АЭС обеспечивается (соответствует проектным требованиям).

2) Характер приращений напряжений в стержневой арматуре в период приемо-сдаточных испытаний защитной оболочки показал, что конструкция работает в упругой стадии, т.к. после снятия нагрузки показания приборов возвращаются в исходное нулевое состояние. Это позволяет утверждать, что защитная оболочка удовлетворяет

проектным критериям оценки НДС в период приемо-сдаточных испытаний.

3) Сравнение деформаций в бетоне и напряжений в стержневой арматуре, измеренных при преднапряжении и в период воздействия максимального испытательного давления показало, что во всех случаях отсутствуют растягивающие напряжения и деформации, что позволяет сделать вывод о достаточном уровне преднапряжения защитной оболочки энергоблока № 3 Ростовской АЭС.

4) Результаты натуральных наблюдений при проведении приемо-сдаточных испытаний показали, что ширина раскрытия поверхностных трещин на наружной поверхности бетона защитной оболочки при воздействии испытательного внутреннего давления и после сброса давления не превышала 0,3 мм, что удовлетворяет нормативным требованиям.

5) Проведенный анализ показал, что полученные расчетные значения перемещений и параметров напряженно-деформированного состояния защитной оболочки энергоблока № 3 Ростовской АЭС при ее преднапряжении и в процессе приемо-сдаточных испытаний качественно и количественно соответствуют измеренным. Максимумы и знаки растягивающих и сжимающих напряжений располагаются в тех же зонах где они определены и при измерениях.

6) Таким образом, уточненный расчет НДС защитной оболочки после её преднапряжения и приемо-сдаточных испытаний (при учете фактических физико-механических свойств используемых материалов, измеренных усилий в армоканатах и фактических геометрических параметров) показал, что достигнутый проектный уровень предварительного напряжения конструкции обеспечивает эксплуатационную пригодность защитной оболочки энергоблока № 3 Ростовской АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа натуральных наблюдений за защитной оболочкой энергоблока №3 Ростовской АЭС в период возведения, преднапряжения, приёмо-сдаточных испытаний и эксплуатации [Текст]. – М.: ОАО «Атомтехэнерго», 2011.
2. Нормы проектирования железобетонных конструкций локализирующих систем безопасности атомных станций. ПНАЭ Г-10-007- 89 [Текст]. – Госпроматомнадзор СССР, 1991.
3. *Медведев, В.Н. и др.* Анализ результатов предварительного напряжения защитной оболочки энергоблока № 3 Ростовской АЭС [Текст] / В.Н. Медведев, А.Н. Ульянов, В.Ф. Стрижов, А.С. Киселев // Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики: тез. Девятой междунар. науч.-техн. конф.: пленарные и секционные доклады. – МНТК-2014, Москва, 21–23 мая 2014 г. – М., 2014. – С. 290–295.
4. *Карпенко, Н.И.* Общие модели механики железобетона [Текст] / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
5. Отчет ВИТИ НИЯУ МИФИ на тему: «Проведение инструментального контроля геометрических параметров защитной оболочки и физико-механических свойств элементов строительных конструкций» [Текст]. – Волгодонск, 2014. – 23 с.

REFERENCES

- [1] Programma natsurnykh nablyudenij za zashhitnoj obolochkoj energobloka №3 Rostovskoj AES v period vozvedeniya, prednapryazheniya, priyomo-sdatochnyx ispytaniy i ekspluatacii [The program of natural supervision over the Rostov NPP power unit № 3 protective cover during construction, pretension, acceptance tests and operation]. M. Pub. ОАО «Atomtexenergo» [JSC Atomtekhenenergo], 2011. (in Russian)
- [2] Normy proektirovaniya zhelezobetonnykh konstrukcij lokalizuyushhih sistem bezopasnosti atomnykh stancij. PNAE G-10-007-89 [Norms of design of ferroconcrete designs of the localizing security systems of nuclear power plants. PNAE G-10-007 - 89]. Pub. Gospromatomnadzor SSSR [Gospromatomnadzor of the USSR], 1991. (in Russian)
- [3] Medvedev V.N., Ulyanov A.N., Strizhov V.F., Kiselev A.S. Analiz rezultatov predvaritel'nogo napryazheniya zashhitnoj obolochki e'nergobloka № 3 Rostovskoj AES [Analysis of results of

- preliminary tension of a protective cover of the Rostov NPP power unit № 3]. Bezopasnost, effektivnost i ekonomika atomnoj energetiki [Safety, efficiency and economy of nuclear power] : tez. Devyatoj mezhdunar. nauch.-tehn. konf.: plenarnye i sekcionnye doklady []. – MNTK[(международная научно-техническая конференция) [theses of the Ninth international scientific and technical conference: plenary and section reports]-2014, Moscow, May 21–23, 2014. M. 2014, p. 290–295. (in Russian)
- [4] Karpenko N.I. Obshhie modeli mexaniki zhelezobetona [General models of mechanics of reinforced concrete]. M. Pub. Strojizdat [Stroyizdat], 1996, ISBN 5-274-01682-0, 416 p. (in Russian)
- [5] Otchet VITI NIYaU MIFI na temu: «Provedenie instrumentalnogo kontrolya geometricheskix parametrov zashhitnoj obolochki i fiziko-mexanicheskix svojstv elementov stroitelnyh konstrukcij» [VITI NRNU MEPhI report: "Carrying out tool control of geometrical parameters of a protective cover and physicommechanical properties of elements of construction designs"]. Volgodonsk, 2014, 23 p. (in Russian)

Test Results of the Rostov NPP Power Unit № 3 Protective Cover

V.N. Medvedev*, **Aleksandr S. Kiselev***, **Aleksej S. Kiselev***,
A.N. Ulyanov*, **V.F. Strizhov***, **A.A. Salnikov****

** Institute of nuclear power safe development problems,
52, Bolshaya Tulsкая, Moscow, Russia 113191
e-mail: cont@ibrae.ac.ru*

*** Rostov NPP the branch of JSC Rosenergoatom Concern,
Volgodonsk-28, Rostov region, Russia 347340
e-mail: admin@rosnpp.org.ru*

Abstract – The assessment of the intense deformed condition of the Rostov NPP power unit №3 protective cover is given in work from the moment of the termination of pretension to acceptance tests.

Keywords: protective cover, NPP, reinforcing ropes, concrete, tension, efforts.