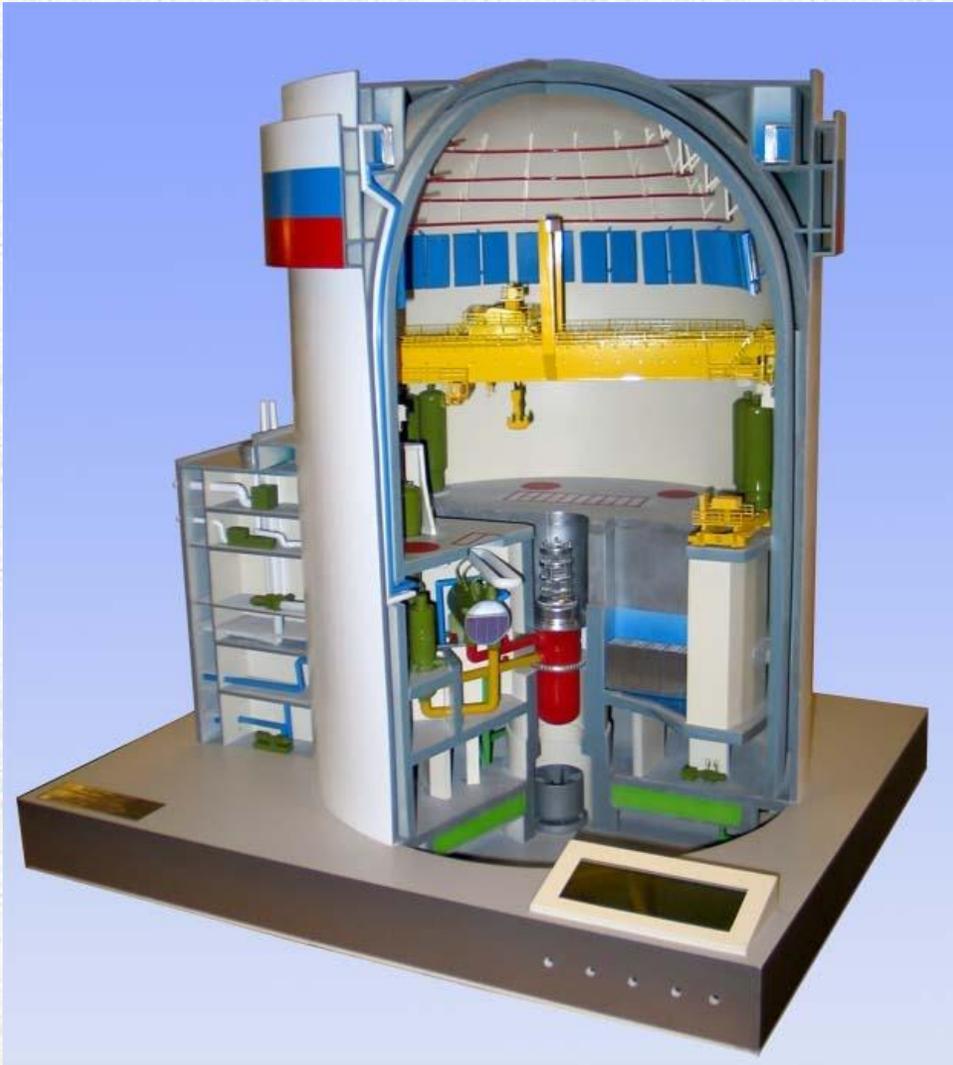


**ТЕХНОЛОГИЯ
РАБОТ И КОНТРОЛЬ
КАЧЕСТВА ПРИ БЕТОНИРОВАНИИ
БЛОКОВ «СУХОЙ ЗАЩИТЫ»
С СЕРПЕНТИНитОВЫМ БЕТОНОМ**

ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКАЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ ООО ИК «НИИЖБ»:

- Разработка производственно-технологической документации;
- Локализация строительных материалов при сооружении ОИЯЭ
- Разработка и изготовление контуров безопасности ОИЯЭ с использованием инновационных технических решений;
- Выполнение материаловедческих работ и исследований;
- Научно-техническое сопровождение строительства;
- Инженерные изыскания в строительстве;
- Разработка экспертных заключений.



Шахта реактора является несущей конструкцией реакторного отделения атомной станции, поэтому температурные и радиационные нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации реактора, на бетон должны быть ограничены.

Функцию радиационно-теплового экрана защиты конструкций от воздействия нейтронного потока активной зоны реактора выполняет т.н. «сухая защита» реактора.

Конструкция «сухой защиты» в современных реакторах представляет собой толстостенную цилиндрическую самонесущую конструкцию из армированного серпентинитового бетона с облицовкой из стального листа. Конструкция «сухой защиты» может выполняться в сборном варианте: в виде цилиндра из 10-ти монтажных элементов (блоков) или двух (верхний и нижний) цилиндрических корпусов. В процессе изготовления сухой защиты» металлические сегменты и цилиндры заполняют бетонной смесью с серпентинитовым наполнителем.



Химическая основа серпентинита - многоосновный гидросиликат магния $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$, который сохраняет до 14% кристаллизационной воды при температуре до $500^{\circ}C$. Водород в составе кристаллизационной воды обеспечивает эффективное замедление нейтронного потока.

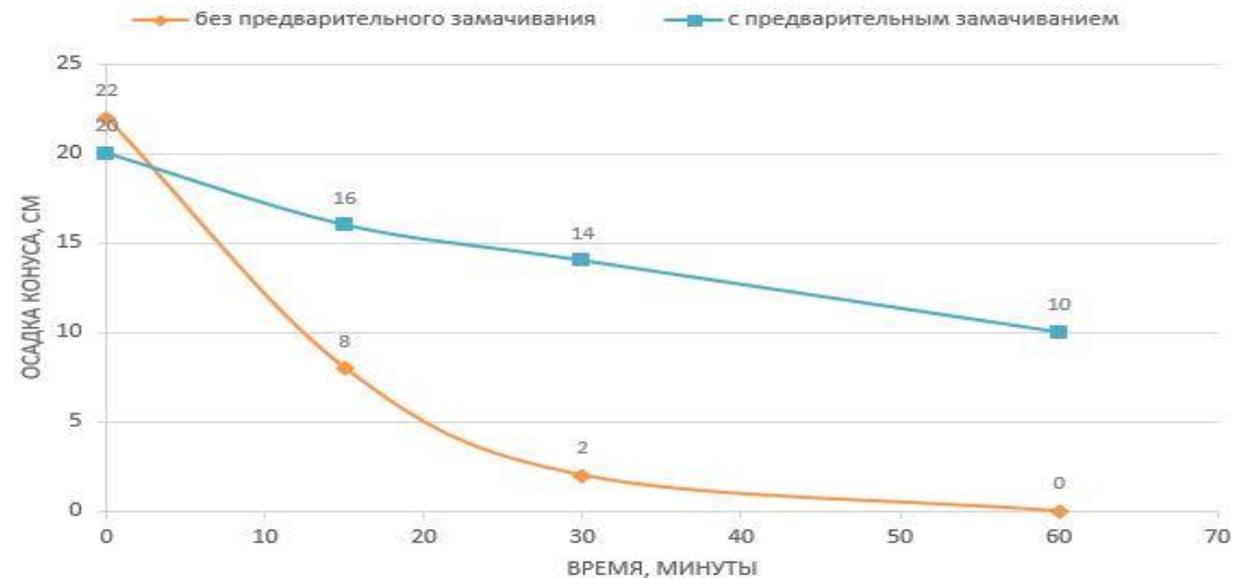
Технология изготовления блоков «сухой защиты»

1. Бетонирование блока «серпентинитовым бетоном»
2. Сушка (термообработка) блока
3. Контроль качества бетона и блока
4. Сборка элементов блока

Технологической особенностью серпентинитового бетона является быстрая потеря подвижности бетонной смеси вследствие активного капиллярного всасывания воды.

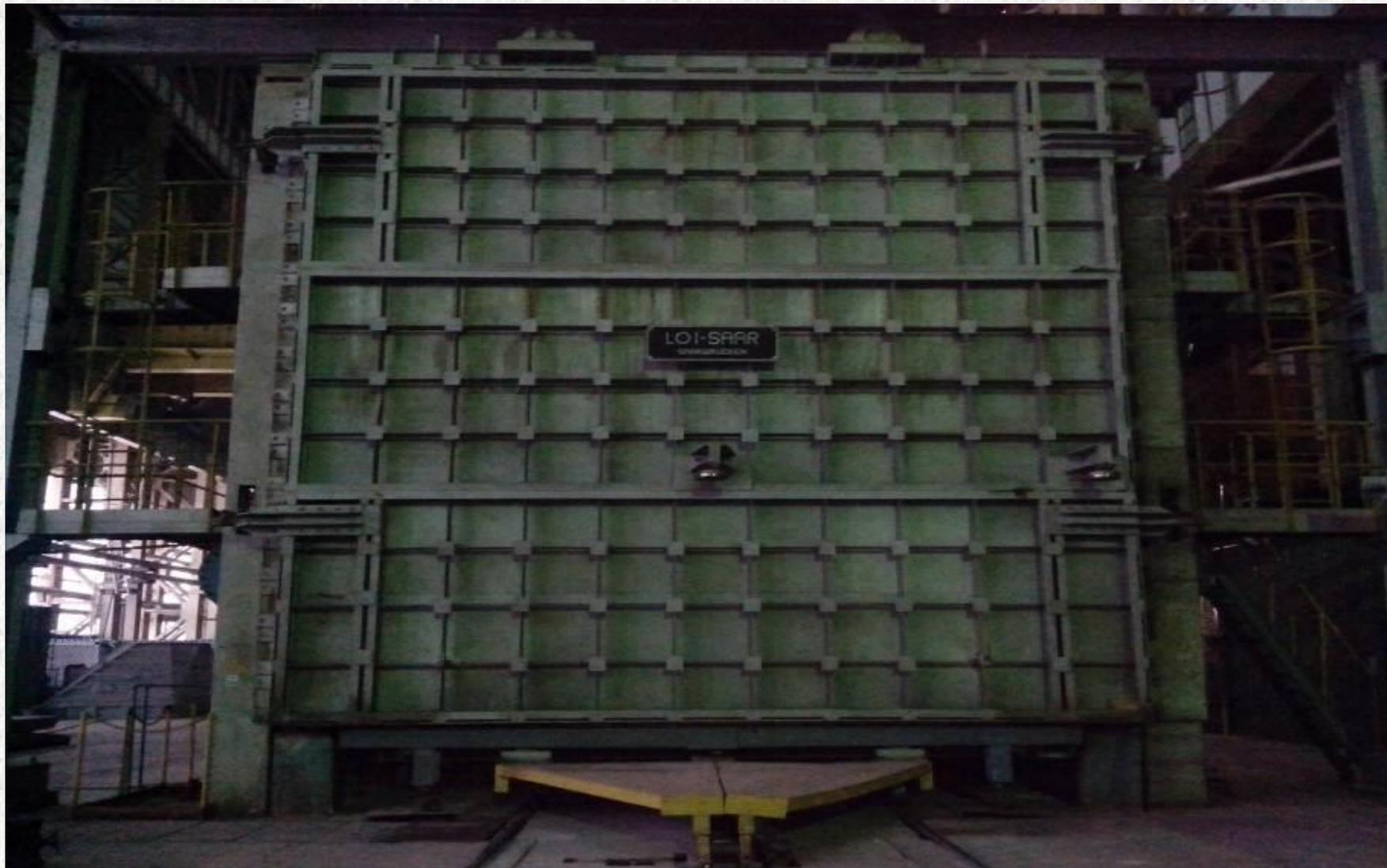
Этот процесс связан с наличием в составе заполнителя волокон асбеста, как в свободном виде, так и в щебне. Капиллярные силы способствуют интенсивному всасыванию и удержанию воды в волокна асбеста.

Сушка блока сухой защиты производится при температуре 250-320°C до полного удаления физически связанной воды из бетона. Как правило, этот процесс с учетом постепенного подъема, изотермического прогрева и снижения температуры занимает 14-17 дней.

**ИЗМЕНЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ БЕТОННОЙ
СМЕСИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОДГОТОВКИ
ЗАПОЛНИТЕЛЯ**

Подвижность бетонной смеси может изменяться от 22-24 см до 6-8 см в течение 15 мин и до 1-2 см через 30 мин. С целью обеспечения сохраняемости серпентинитовый заполнитель может быть замочен в течение 10-14 дней. Опыт показал, что при таких условиях, серпентинитовая бетонная смесь способна к транспортировке и технологическим пределам в течение 1-1,5 часов после приготовления. Подвижность смеси изменилась не более 2-4 см после приготовления, что позволило применить бетононасос при бетонировании конструкции. Для повышения подвижности бетонной смеси была также использована добавка суперпластификатор С-3.



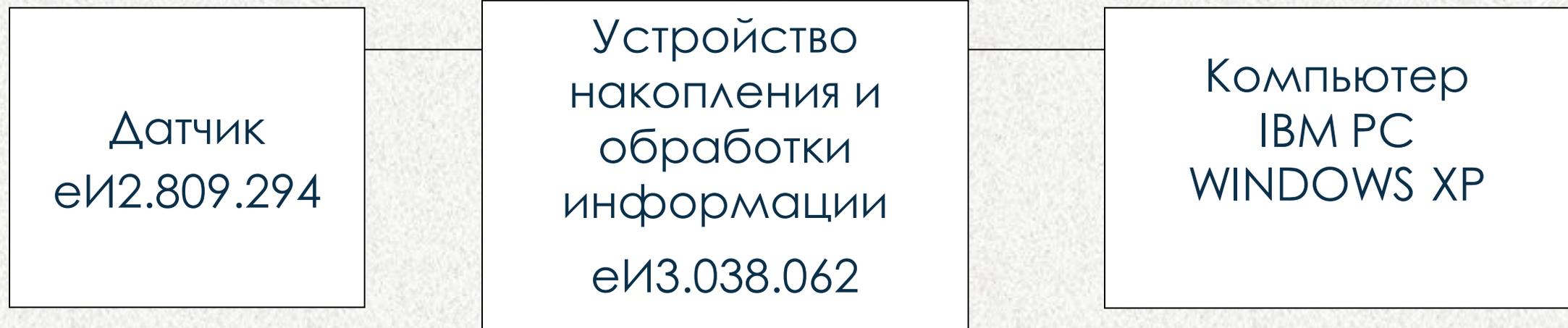


Печь завода «Атоммаш»



Качество таких изделий, объективность работы ионизационных камер системы управления, определяется, в том числе, однородностью распределения атомов водорода, обеспечивающих замедление нейтронного излучения в различных объемах. Для контроля качества таких изделий может быть применен метод нейтронного профилирования с помощью детектирования сигнала от источника быстрых нейтронов (Pu, Am) и оценка статистического распределения полученных откликов.

Измеритель влажности нейтронный ИВН еИ1.560.091

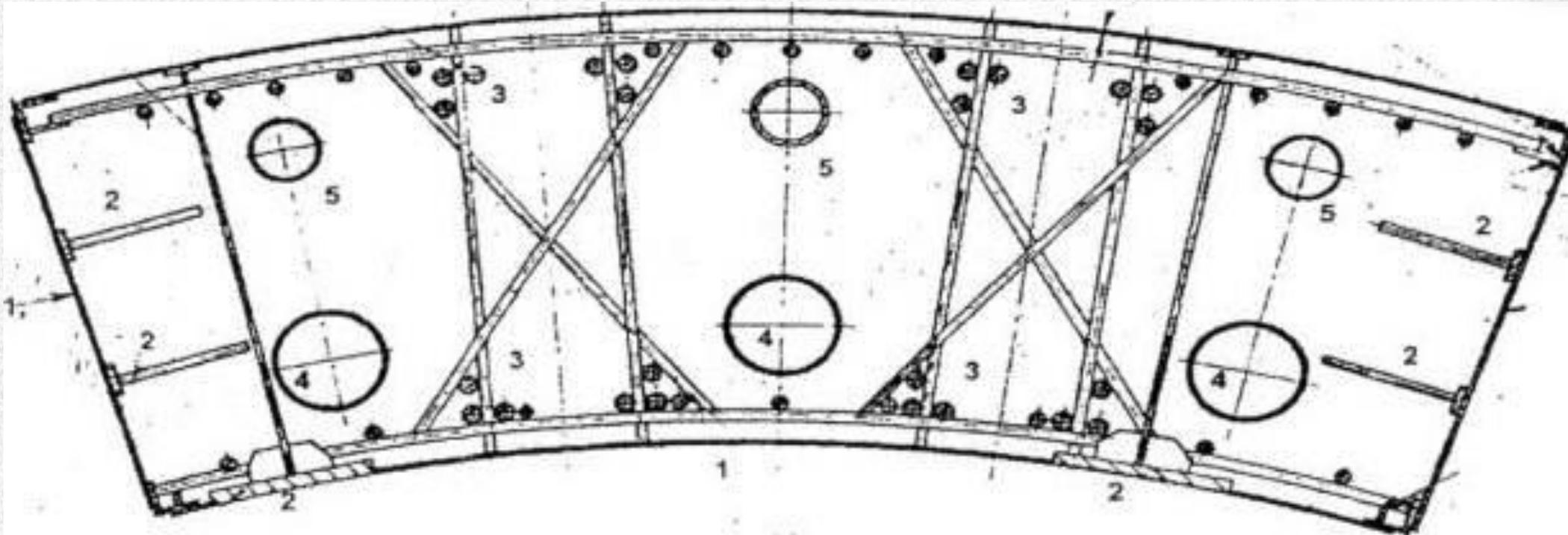


Принцип работы прибора:

Датчик ДН-М с установленным в него источником быстрых нейтронов ИБН помещают в измерительный канал блока «сухой защиты». Источник быстрых нейтронов (ИБН) образует вокруг себя нейтронное поле, вылетевшие быстрые нейтроны, сталкиваясь с атомами водорода измеряемого вещества, замедляются, их регистрирует счетчик датчика ДН-М. Полученный несформированный аналоговый сигнал поступает в устройство накопления и обработки информации (УНО). В УНО сигнал преобразовывается в цифровое значение счета импульсов, и далее передается в компьютер в виде чисел для набора статистики и определения качества заливки блоков «сухой защиты». Фиксируемое за определённое время число импульсов позволяет оценить плотность распределения атомов водорода в измеряемой сфере.

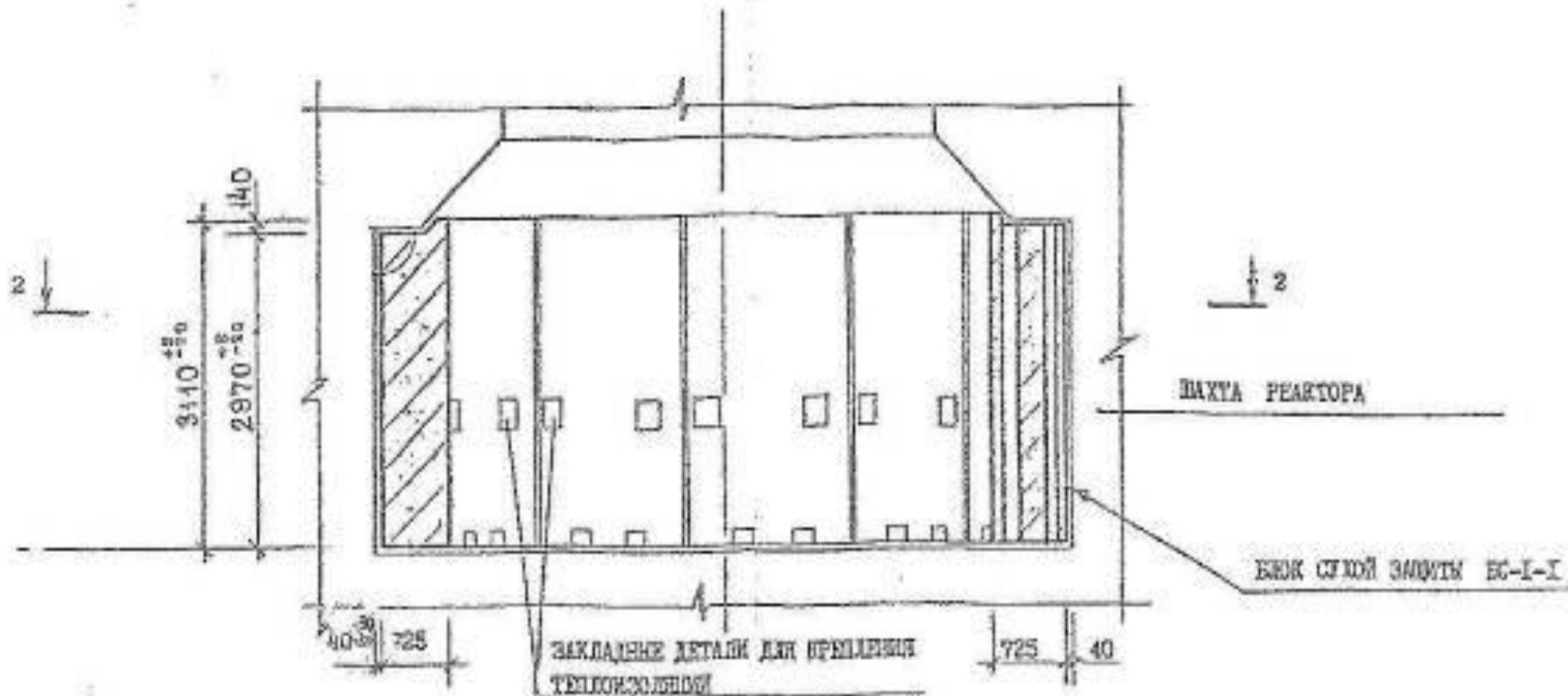
- ▶ По результатам нейтронного профилирования блока защиты после сушки и сопоставления их с результатами оценки влажности контрольных образцов можно сделать о завершенности процесса сушки и остаточной влажности бетона.
- ▶ Интенсивность счета после термообработки блоков меняется в пределах 25-30 % в сторону снижения, что свидетельствует о завершенности процесса сушки и находится в хорошем соответствии с аналогичными данными, полученными ранее исследованиями МГСУ.
- ▶ Полученные результаты обрабатываются, и на основании полученных данных составляется протокол проведения нейтронного профилирования, определяющий качество бетонирования блоков, наличие пустот и качество сушки (термообработки) бетона.





**Поперечное сечение блока «СЗ» со схемой армирования.
1 – облицовка; 2 – закладные детали; 3 – арматурные каркасы; 4 – проходки для каналов ИК; 5 – проходки для каналов противовесов.**

РАЗРЕЗ I-I







Состав бетона на 1 м³ В12,5 П2
Цемент - 330 кг
Галя серпентинитовая – 660 кг
Щебень серпентинитовый – 1100 кг
Вода – 230 кг
Суперпластификатор С 3 – 0,8% Ц

Бетон блоков «СЗ» твердел в камере тепловлажностной обработки на полигоне ВФ ООО «Бетон». Для обеспечения температурно-влажностного режима использовался парогенератор Meksis KMBS – 2000. Режим пропарки забетонированных блоков согласовывался с представителем НИИЖБ и представителем строительной лаборатории.



Режим твердения бетона блоков «СЗ» в камере тепловлажностной обработки 4ч+4ч+18ч+4ч при температуре изотермического прогрева +70оС и влажности не менее 95%. Одновременно бетонировали два блока. Бетонирование производили непосредственно в камере тепловлажностной обработки. В соответствии с проектом для обеспечения геометрии блоков в процессе бетонирования изделия находились в ложементках.

Пропаривание в камере тепловлажностной обработки проводили по два блока одновременно. После пропаривания блоки складировали в смежных отсеках камеры ТВО, где поддерживали температуру не ниже 5оС.



Результаты контроля процесса тепловлажностной обработки блоков сухой защиты проведённых на полигоне ВФ ООО «Бетон» в камере ТВО. Температуру определяли с помощью термометра ТК – 5.04; влажность определяли с помощью гигрометра ВИТ 2.

Вид технологической операции	Дата	Время	Температура, °С
Подъем температуры	17.10.2013	22:00	48
	17.10.2013	23:00	52
	18.10.2013	00:00	54
	18.10.2013	01:00	57
Изотермическая выдержка	18.10.2013	02:00	59
	18.10.2013	03:00	61
	18.10.2013	04:00	62
	18.10.2013	05:00	64
	18.10.2013	06:00	65
	18.10.2013	07:00	66
	18.10.2013	08:00	67
	18.10.2013	09:00	67
	18.10.2013	10:00	62
	18.10.2013	11:00	63
	18.10.2013	12:00	66
	18.10.2013	13:00	66
	18.10.2013	14:00	67
	18.10.2013	15:00	68
	18.10.2013	16:00	68
	18.10.2013	17:00	68
	18.10.2013	18:00	67
18.10.2013	19:00	65	
18.10.2013	20:00	64	
Снижение температуры	18.10.2013	21:00	58
	18.10.2013	22:00	51
	18.10.2013	23:00	49
	19.10.2013	00:00	48

Журнал контроля тепло-влажностной обработки блоков сухой защиты.

Дата бетонирования: « 17 » октября 2013 г.

Место бетонирования: камера ТВО – полигон ВФ ООО «Бетон».

Маркировка (шифр) изделия: БС-1-5; БС-1-1.

Класс бетона: В12,5

Для контроля температуры сушки блоков «СЗ» использовали термопары и многоканальный регистратор температуры потенциометр КСП-4 с самописцем, соединенный с термодатчиками через адаптер. Термодатчики устанавливали в 1-3-5 блок «СЗ» от шибера печи в каждом ряду сушки. Датчики были установлены в скважины (гнезда) диаметром 10-12 мм глубиной 350-360 мм в блоках «СЗ» и в блоке имитаторе.

	23.05	55	60	50
00:05	55	60	55	
01:05	58	60	55	
02:05	59	61	55	
03:05	59	61	56	
04:05	60	62	57	
05:05	60	63	58	
06:05	61	64	59	
07:05	61	65	60	
08:05	62	66	61	
09:05	63	68	62	
10:05	64	70	63	
11:05	65	72	64	
12:05	66	74	65	
13:05	67	76	66	
14:05	68	78	67	
15:05	70	80	69	
16:05	72	80	70	
17:05	73	80	71	
18:05	75	80	72	
19:05	77	80	73	
20:05	78	80	75	
21:05	79	80	78	
22:05	80	85	80	
23:05	80	85	80	
00:05	81	86	81	
01:05	82	87	82	
02:05	83	88	83	
03:05	85	90	85	
04:05	88	91	86	
05:05	91	93	87	
06:05	95	95	88	
07:05	97	98	90	
08:05	97	98	90	
09:05	97	99	90	
10:05	98	100	91	
11:05	100	100	93	
12:05	102	102	95	
13:05	102	104	100	
14:05	105	105	102	
15:05	105	105	103	
16:05	107	107	105	
17:05	110	109	105	
18:05	110	110	105	
19:05	112	110	107	
20:05	112	112	107	
21:05	113	114	108	
22:05	113	116	109	
23:05	114	116	109	

	00:05	10:05	15:05	17:05	18:05	19:05
00:05	114	117	113			
03:05	117	118	115			
04:05	117	119	115			
05:05	118	120	116			
06:05	119	121	118			
07:05	120	122	120			
08:05	121	122	120			
09:05	122	122	120			
10:05	120	123	120			
11:05	120	123	120			
12:05	120	123	120			
13:05	119	123	120			
14:05	119	121	120			
15:05	117	120	120			
16:05	116	120	120			
17:05	115	119	120			
18:05	115	118	120			
19:05	115	118	120			
20:05	117	118	120			
21:05	118	119	120			
22:05	119	119	120			
23:05	120	120	120			
00:05	120	120	120			
01:05	120	120	120			
02:05	120	120	120			
03:05	120	120	120			
04:05	120	120	120			
05:05	120	120	120			
06:05	120	120	120			
07:05	120	120	120			
08:05	120	120	120			
09:05	120	120	115			
10:05	120	120	120			
11:05	120	120	120			
12:05	115	120	120			
13:05	115	120	120			
14:05	115	120	120			
15:05	115	120	120			
16:05	115	120	120			
17:05	115	120	120			
18:05	115	120	120			
19:05	115	120	120			
20:05	115	115	115			
21:05	115	115	115			
22:05	115	115	115			
23:05	115	115	115			
00:05	110	115	115			
01:05	110	115	115			
02:05	110	115	115			
03:05	110	115	115			
04:05	110	115	115			
05:05	110	115	115			
06:05	110	115	115			
07:05	110	115	115			
08:05	111	116	116			
09:05	112	117	117			
10:05	114	118	118			
11:05	116	118	119			
12:05	118	118	119			
13:05	118	118	119			
14:05	117	118	118			
15:05	117	118	118			
16:05	117	118	118			
17:05	117	118	118			
18:05	117	118	118			
19:05	117	118	118			
20:05	117	118	118			
21:05	117	118	118			
22:05	117	118	118			
23:05	117	118	118			
00:05	117	118	118			
01:05	117	118	118			
02:05	117	118	118			
03:05	117	118	118			
04:05	117	118	118			
05:05	117	118	118			
06:05	117	118	118			
07:05	117	118	118			
08:05	117	118	118			
09:05	117	118	118			
10:05	117	118	118			
11:05	117	118	118			
12:05	117	118	118			
13:05	117	118	118			
14:05	117	118	118			
15:05	117	118	118			
16:05	117	118	118			
17:05	117	118	118			
18:05	117	118	118			
19:05	117	118	118			
20:05	117	118	118			
21:05	117	118	118			
22:05	117	118	118			
23:05	117	118	118			

	00:05	10:05	15:05	17:05	18:05	19:05
00:05	123	123	122			
01:05	123	123	122			
02:05	123	123	122			
03:05	123	123	122			
04:05	123	123	122			
05:05	123	123	122			
06:05	123	123	122			
07:05	123	123	122			
08:05	123	123	122			
09:05	123	123	122			
10:05	123	123	122			
11:05	123	123	122			
12:05	123	123	122			
13:05	123	123	122			
14:05	123	123	122			
15:05	123	123	122			
16:05	123	123	122			
17:05	123	123	122			
18:05	123	123	122			
19:05	123	123	122			
20:05	123	123	122			
21:05	123	123	122			
22:05	123	123	122			
23:05	123	123	122			
00:05	123	123	122			
01:05	123	123	122			
02:05	123	123	122			
03:05	123	123	122			
04:05	123	123	122			
05:05	123	123	122			
06:05	123	123	122			
07:05	123	123	122			
08:05	123	123	122			
09:05	123	123	122			
10:05	123	123	122			
11:05	123	123	122			
12:05	123	123	122			
13:05	123	123	122			
14:05	123	123	122			
15:05	123	123	122			
16:05	123	123	122			
17:05	123	123	122			
18:05	123	123	122			
19:05	123	123	122			
20:05	123	123	122			
21:05	123	123	122			
22:05	123	123	122			
23:05	123	123	122			
00:05	123	123	122			
01:05	123	123	122			
02:05	123	123	122			
03:05	123	123	122			
04:05	123	123	122			
05:05	123	123	122			
06:05	123	123	122			
07:05	123	123	122			
08:05	123	123	122			
09:05	123	123	122			
10:05	123	123	122			
11:05	123	123	122			
12:05	123	123	122			
13:05	123	123	122			
14:05	123	123	122			
15:05	123	123	122			
16:05	123	123	122			
17:05	123	123	122			
18:05	123	123	122			
19:05	123	123	122			
20:05	123	123	122			
21:05	123	123	122			
22:05	123	123	122			
23:05	123	123	122			
00:05	123	123	122			
01:05	123	123	122			
02:05	123	123	122			
03:05	123	123	122			
04:05	123	123	122			
05:05	123	123	122			
06:05	123	123	122			
07:05	123	123	122			
08:05	123	123	122			
09:05	123	123	122			
10:05	123	123	122			
11:05	123	123	122			
12:05	123	123	122			
13:05	123	123	122			
14:05	123	123	122			
15:05	123	123	122			
16:05	123	123	122			
17:05	123	123	122			
18:05	123	123	122			
19:05	123	123	122			
20:05	123	123	122			
21:05	123	123	122			
22:05	123	123	122			
23:05	123	123	122			
00:05	123	123	122			
01:05	123	123	122			
02:05	123	123	122			
03:0						

Журнал контрольного взвешивания образца-имитатора.

Дата начала термообработки: «18» декабря 2013 г.

Номер термокамеры: MANESMAN 23-1.

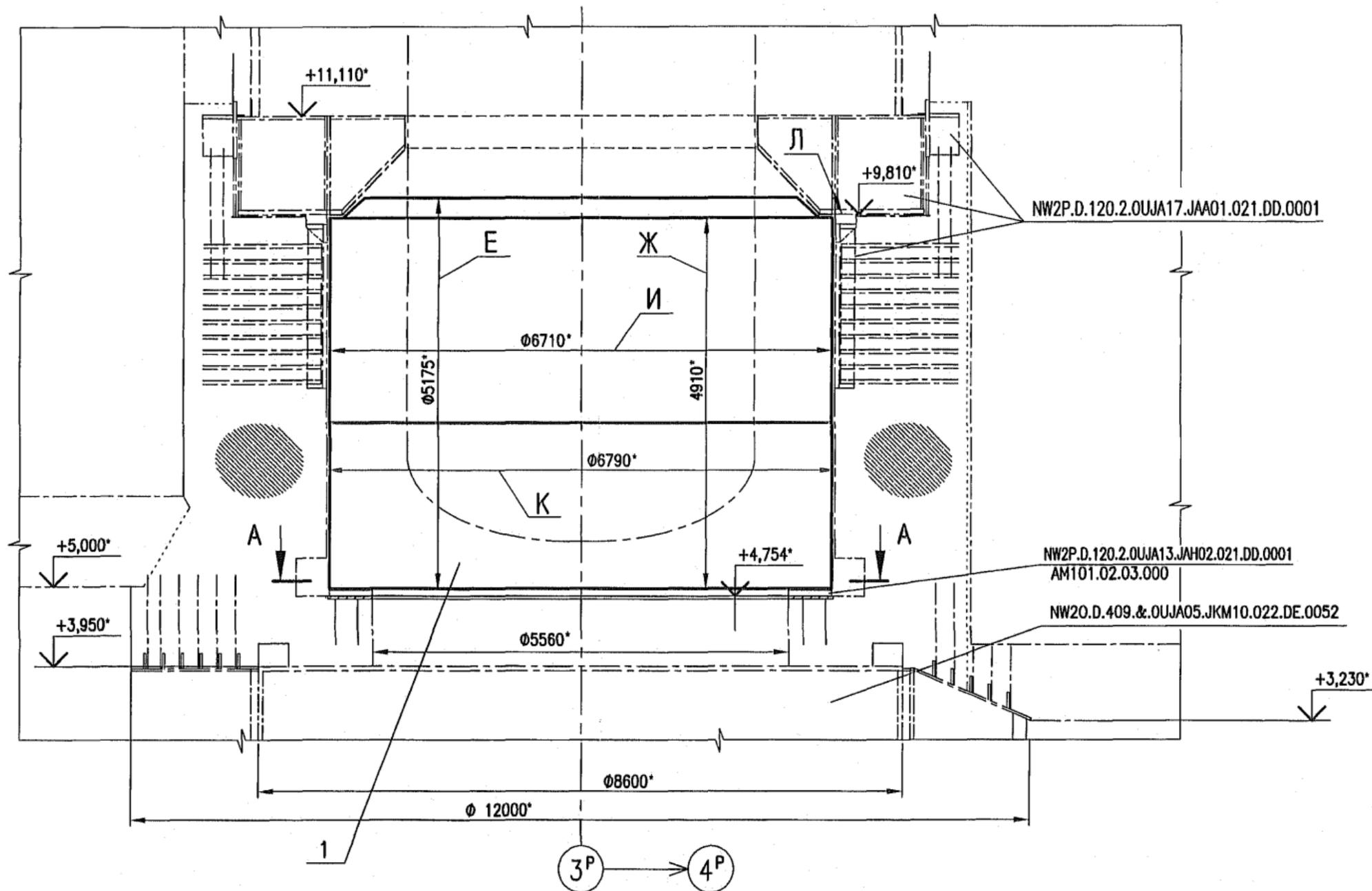
Физическое состояние образца-имитатора	Дата	Время	Масса, кг
Горячее состояние	10.01.2014 г.	11:00	848
	10.01.2014 г.	17:00	848
	10.01.2014 г.	23:00	848
	11.01.2014 г.	05:00	848
	11.01.2014 г.	11:00	848
	11.01.2014 г.	17:00	848
	11.01.2014 г.	23:00	848
	12.01.2014 г.	05:00	848
	12.01.2014 г.	11:00	848
	12.01.2014 г.	17:00	848
Остывшее состояние	12.01.2014 г.	10:00	848

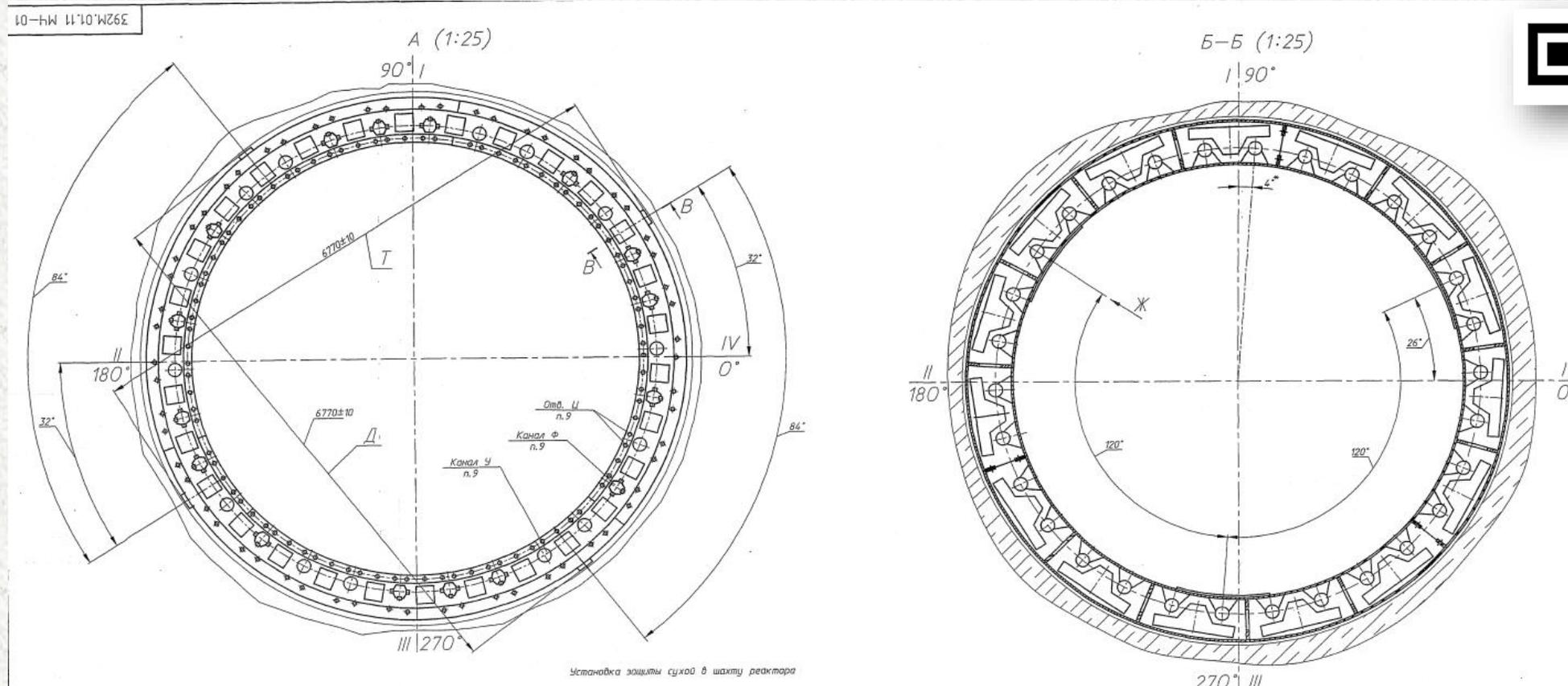
Оперативный контроль качества сушки и термообработки блоков «СЗ» проводился путем взвешивания образца-имитатора. Взвешивание проводилось на крановых весах III класса точности марки МК-10.000



Проходка № 1		Точка измерения					
		1 (300)	2 (800)	3 (1300)	4 (1800)	5 (2300)	6 (2800)
номер измерения	1	80878	88420	90046	88813	89495	87514
	2	80062	88378	90096	88966	89245	86711
	3	80073	88706	89825	88799	89331	87880
	4	80674	87845	89445	88740	89432	87225
	5	80479	88130	90088	89054	89342	87444
Среднее значение, N_{icp}		80433	88296	89900	88874	89369	87355
СКО		362	324	277	131	97	430
Среднее значение по шести точкам, $N_{срср}$		87371					
$\Delta_{ср} = N_{срср} - N_{icp}$		6938	-925	-2529	-1503	-1998	16
$\Delta_{ср} = N_{срср} - N_{icp}, \%$		7,9	-1,1	-2,9	-1,7	-2,3	0,0
СКО, $N_{срср}$		3511					
Коэффициент вариации $V, \%$		4,0					







Расход материалов на 1 м³ смеси В12,5 ПЗ:

Цемент, 350 кг

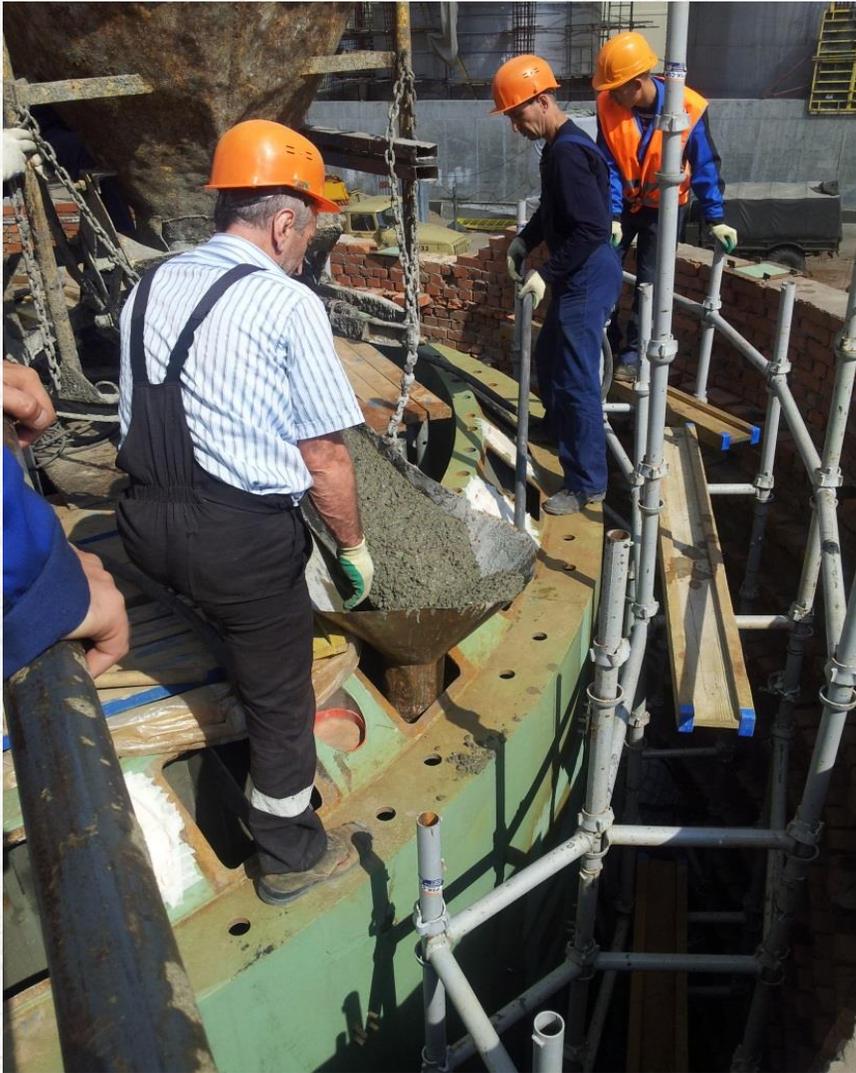
Серпентинитовая галля, 640 кг

Серпентинитовый щебень, 1100 кг

Вода, 230 кг

Добавка Гпмж, 0,5% Ц

Пеногаситель, 0,5% Ц



Бетонирование блока «С3»



Нейтронное профилирование блока «С3»

отметка/высота (м)	Номер проходки																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2,6	1419	1309	1288	851	863	1282	865	1416	909	1376	1410	877	1364	837	792	1427	1179	1291	824	856	1352	963	1526	868	1290	1354	849	1354	839	955
2,5	1418	1405	1467	879	834	1439	898	1506	938	1468	1436	799	1407	852	808	1473	1320	1385	919	853	1401	937	1472	831	1412	1420	873	1437	753	891
2,4	1449	1471	1563	895	827	1470	910	1541	871	1593	1551	873	1518	833	859	1499	1330	1477	833	879	1594	881	1558	844	1412	1465	822	1484	781	869
2,3	1537	1482	1527	862	866	1541	868	1523	894	1627	1542	927	1553	848	873	1561	1525	1508	868	877	1553	869	1534	916	1485	1475	830	1555	865	924
2,2	1621	1559	1525	851	892	1557	857	1604	828	1607	1622	934	1519	906	851	1518	1559	1519	802	875	1563	862	1535	927	1516	1379	904	1527	835	932
2,1	1650	1627	1587	896	831	1481	848	1585	884	1516	1521	907	1545	848	870	1573	1540	1536	863	810	1602	785	1526	841	1508	1459	875	1545	902	883
2	1532	1541	1504	872	846	1560	853	1566	867	1518	1521	935	1523	863	833	1572	1634	1484	833	797	1586	785	1557	862	1513	1575	846	1525	861	886
1,9	1675	1582	1574	877	792	1631	867	1554	906	1582	1524	871	1557	914	791	1539	1555	1474	831	845	1659	794	1529	883	1433	1523	844	1444	862	870
1,8	1624	1458	1473	794	807	1483	839	1474	905	1587	1469	811	1419	856	760	1388	1559	1506	864	828	1500	875	1405	803	1385	1475	806	1446	775	785
1,7	1509	1360	1386	823	769	1490	764	1378	785	1445	1405	814	1321	895	811	1457	1488	1418	866	858	1484	873	1412	776	1401	1324	830	1352	795	754
1,6	1517	1507	1524	875	808	1454	894	1544	852	1558	1360	913	1414	864	868	1445	1346	1438	768	835	1364	863	1470	841	1512	1419	806	1401	892	822
1,5	1576	1462	1584	927	810	1490	840	1468	874	1443	1549	929	1542	873	834	1385	1401	1574	802	958	1472	892	1510	879	1454	1456	797	1464	817	902
1,4	1501	1611	1553	901	880	1412	873	1551	976	1447	1456	955	1547	898	918	1442	1489	1573	832	928	1560	936	1529	902	1431	1542	802	1675	853	852
1,3	1517	1639	1470	921	792	1503	898	1752	915	1488	1459	836	1541	861	846	1493	1512	1541	916	949	1592	946	1534	853	1512	1538	875	1541	829	867
1,2	1518	1650	1489	849	916	1515	831	1527	854	1497	1493	856	1618	797	850	1543	1531	1501	919	838	1593	920	1585	832	1622	1517	850	1480	833	884
1,1	1579	1647	1583	923	848	1567	816	1498	886	1553	1568	976	1499	888	775	1539	1590	1519	839	887	1558	885	1525	914	1705	1597	860	1468	871	910
1	1609	1631	1432	996	950	1563	853	1479	888	1563	1537	1001	1496	911	855	1522	1582	1520	923	865	1563	832	1562	997	1712	1622	848	1570	797	894
0,9	1618	1750	1616	916	950	1464	821	1521	800	1489	1600	952	1487	843	856	1534	1537	1559	915	900	1495	875	1463	907	1728	1563	935	1536	792	850
0,8	1571	1726	1553	918	810	1414	810	1474	885	1506	1436	886	1456	848	835	1533	1466	1544	896	898	1580	893	1430	827	1709	1540	904	1475	845	834
0,7	1411	1563	1468	854	735	1415	765	1299	785	1397	1385	847	1356	793	815	1416	1379	1457	865	809	1480	807	1461	827	1534	1458	849	1426	745	813
0,6	1323	1446	1529	879	801	1397	799	1393	803	1475	1541	861	1362	796	834	1491	1417	1449	782	831	1394	799	1480	843	1450	1432	865	1511	809	746
ср.значение в проходке по высоте	1532	1544	1509	884	839	1482	846	1507	872	1511	1495	893	1478	858	835	1493	1473	1489	855	866	1521	870	1505	865	1511	1483	851	1486	826	863
ср.значение	1532	1544	1509	884	839	1482	846	1507	872	1511	1495	893	1478	858	835	1493	1473	1489	855	866	1521	870	1505	865	1511	1483	851	1486	826	863
ср.линейное отклонение	70	95	58	32	43	57	31	66	38	56	61	47	69	28	28	49	90	50	39	34	71	41	42	39	91	64	27	58	35	43
дисперсия	7756	12861	5592	1759	2951	5580	1556	8203	2365	4554	4901	3006	6382	1230	1304	3255	12061	4350	2103	1834	6982	2761	2434	2336	13989	5975	1227	5395	1783	2898
ср.квадратическое отклонение	88	113	75	42	54	75	39	91	49	67	70	55	80	35	36	57	110	66	46	43	84	53	49	48	118	77	35	73	42	54
коэффициент вариации по высоте проходки	5,75%	7,34%	4,95%	4,75%	6,47%	5,04%	4,66%	6,01%	5,58%	4,47%	4,68%	6,14%	5,40%	4,09%	4,33%	3,82%	7,45%	4,43%	5,36%	4,95%	5,49%	6,04%	3,28%	5,59%	7,83%	5,21%	4,12%	4,94%	5,11%	6,24%