УДК 69.05 DOI: 10.22227/1997-0935.2017.9.954-961

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СООРУЖЕНИЯ «СУХОЙ» ЗАЩИТЫ БЕЛОРУССКОЙ АЭС[1]

Н.И. Бушуев, А.С. Введенская*

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26;

**Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева (НИИЖБ), 109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., д. 6, корп. 5*

АННОТАЦИЯ. Предмет исследования: «сухая» защита (СЗ) служит для снижения потоков излучений активной зоны реактора и уменьшения тепловыделений для нормальной эксплуатации биологической защиты. Она обеспечивает требуемые условия эксплуатации аппаратуры контроля нейтронного потока, являясь элементом нормальной эксплуатации атомной электростанции.

Цели: равномерность распределения плотности и влажности бетона СЗ — необходимые условия успешной работы атомной электростанции. Контроль изготовления СЗ осуществляется в два этапа. Первый этап — после бетонирования и набора прочности бетона; второй этап — после термообработки. Термообработка необходима для стабилизации физико-технических характеристик в объеме СЗ, являясь наиболее дорогой и ответственной операцией.

Материалы и методы исследований: для СЗ применяется серпентинитовый бетон. При повышенных температурах он сохраняет до 15 % химически связанной воды, содержащей водород, необходимый для снижения потоков быстрых и промежуточных нейтронов. Приводятся требования к укладке бетона в металлическую облицовку.

Определение плотности и влажности осуществляется каротажной аппаратурой с записью результатов измерений. Зонд каротажа используется для одновременной регистрации рассеянного гамма-излучения (гамма-гамма-каротаж — ГГК) для определения плотности бетона и вторичного рассеянного потока быстрых и промежуточных нейтронов, в основном на атомах водорода, (нейтрон-нейтронный каротаж — ННК) для определения влажности бетона.

Результаты: обработку результатов измерений проводили в соответствии с правилами определения и методами расчета статистических характеристик по выборочным данным.

Коэффициент вариации между всеми проходками блоков СЗ ГГК до термообработки равен 12,37 %, после термообработки — 9,5 %, а ННК — соответственно 3,42 и 3,04 %.

Выводы: приведенные результаты показывают, что СЗ Белорусской АЭС после термообработки удовлетворяет требованиям однородности как по плотности, так и по влажности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: «сухая» защита реактора, активная зона, нейтроны, серпентинитовый бетон, нейтрон-нейтронный каротаж, гамма-гамма-каротаж

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бушуев Н.И., Введенская А.С. Контроль качества сооружения «сухой» защиты Белорусской АЭС // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 9 (108). С. 954–961.

QUALITY CONTROL OF CONSTRUCTING “DRY” PROTECTION OF BELARUSIAN NPP

N.I. Bushuev, A.S. Vvedenskaya*

Moscow State Civil Engineering University (National Research Laboratory) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation;

** Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after. A.A. Gvozdev (NIIZhB), 6/5 2nd Institutskaya str., Moscow, 109428, Russian Federation*

ABSTRACT. Research subject: “dry” protection serves to lower the radiation flow of nuclear reactor core and reduce radiation heat to assure normal operation of biological protection. It guarantees desired operating conditions of neutron flux control equipment by being the element of normal use of the nuclear facility’s system.

Goals: uniform distribution of concrete’s density and moisture percentage in “dry” containment shell are requisite conditions for nuclear facility’s successful operation. Control of “dry” protection’s production is performed in two stages. First stage — after concrete’s pouring and concrete strength development. The second one — after the heat treatment. Heat treatment is required for stabilization of physicotechnical characteristics in the volume of “dry” containment shell by being the most expensive and important operation.

Materials and research methods: serpentinite concrete is used for “dry” containment shell. At elevated temperatures it saves up to 15 % of chemically bound water which contains hydrogen necessary for lowering fast and intermediate neutron fluxes. Requirements for concrete laying in metal formwork are given.

[1] Авторы выражают сердечную благодарность сотрудникам НИУ МГСУ за ценные замечания при подготовке статьи и сотрудникам НИИЖБа им. А.А. Гвоздева за помощь при проведении экспериментов.

© Н.И. Бушуев, А.С. Введенская

Density and moisture determination was carried out by logging equipment with measurement data recording. Logging probe is used for simultaneous recording of scattered gamma rays (gamma-gamma logging — GGL) to determinate concrete's density and of secondary scattered fast and intermediate neutron flux, mainly on hydrogen's atoms (neutron-neutron logging — NNL), to determinate concrete's moisture.
Results: processing of the measurement results was carried out in accordance with the rules of determination and methods of calculating the statistical characteristics from the sample data.
The coefficient of variation between all passages of blocks of "dry" protection of GGL before heat treatment is equal to 12.37 %, after heat treatment — 9.5 %, and NNL — 3.42 % and 3.04 % respectively.
Conclusions: the above results show that the "dry" protection of the Belarusian NPP after heat treatment satisfies the requirements of uniformity both in density and humidity.

KEY WORDS: "dry" protection, active zone of reactor, neutrons, serpentinite concrete, neutron-neutron logging, gamma-gamma-ray logging

FOR CITATION: Bushuev N.I., Vvedenskaya A.S. Kontrol' kachestva sooruzheniya «sukhoy» zashchity Belorusskoy AES [Quality Control of the "Dry" Protection of the Belarusian NPP]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 9 (108), pp. 954–961.

ВВЕДЕНИЕ

Радиационная безопасность персонала АЭС и окружающей среды является ключевой проблемой, решение которой возложено на атомную энергетику. Здание реакторной установки Белорусской АЭС (здание 10 UJA) относится к I категории ответственности за радиационную и ядерную безопасность[2] и I категории сейсмостойкости[3].

Для снижения потоков нейтронов и тепловыделений в районе активной зоны реактора применяется «сухая» защита (СЗ). Она также обеспечивает требуемые условия эксплуатации аппаратуры контроля нейтронного потока (АКНП). СЗ входит в состав оборудования шахты реактора и является элементом нормальной эксплуатации атомной электростанции. По влиянию на безопасность АЭС СЗ относятся к классу 3Н[4] .

[2] ПиН АЭ-5.6-86. Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа.

[3] НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций.

[4] НП-001-97, ПНАЭ Г-01-011-97. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88/97).

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Аналогами СЗ были конструкции в виде стального кольцевого бака, залитого водой [1–4], а позднее — наполненного серпентинитом (отсюда и название). В серпентинитовом бетоне при повышенных температурах сохраняется до 12…15 % химически связанной воды. Водород воды обеспечивает замедление быстрых и промежуточных нейтронов до энергии тепловых нейтронов, регистрируемых ионизационными камерами (ИК) [5–8].

В России и за рубежом СЗ возведена или возводится более чем на 50 энергоблоках. В настоящее время СЗ изготавливается в двух вариантах. Первый вариант: СЗ собирается из 10 металлических блоков. Каждый блок — это отдельная металлическая конструкция, заполненная армированным серпентинитовым бетоном. Блоки собираются в кольцевую конструкцию вокруг активной зоны реактора [5]. Бетонирование, проведение термообработки, измерение объемной массы и влажности бетона блоков СЗ выполняется на стенде.

По второму варианту СЗ собирается из двух металлических кольцевых корпусов, также запол-

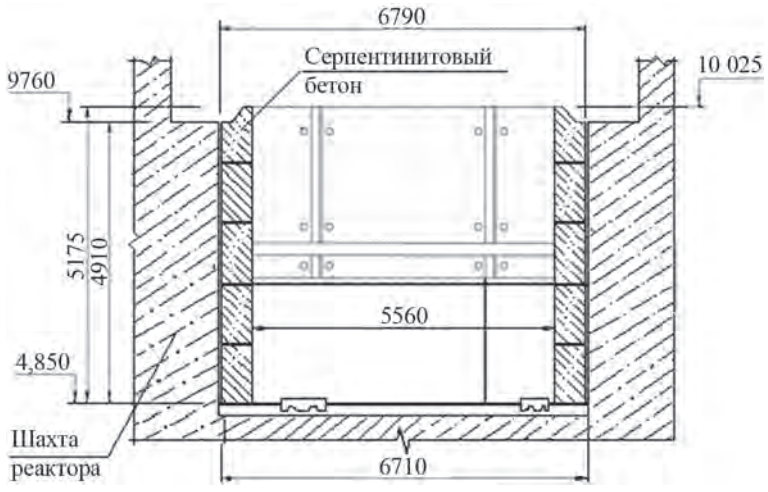


Рис. 1. Установка СЗ в шахту реактора

ненных армированным серпентинитовым бетоном и установленных один на другой [9–11]. Этот вариант применен на Белорусской АЭС. Для СЗ Белорусской АЭС применялся серпентинитовый бетон, в качестве заполнителя которого используется серпентинит состава $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_8$.

Принципиально важно, что до установки СЗ в проектное положение невозможно устройство опорной фермы, корпуса реактора и завершения работ по купольной части защитной оболочки. Монтаж СЗ включен в график строительно-монтажных работ и находится на его критическом пути.

МАТЕРИАЛЫ, КОНСТРУКЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

СЗ представляет собой шесть сегментов: три сегмента по 120° нижнего яруса высотой 2200 мм и три сегмента по 120° верхнего яруса высотой 3095 мм. Каждый сегмент по внутреннему радиусу имеет элементы транспортно-монтажной жесткости. Металлические заготовки выполняют роль опалубки. Они поставляются на строительную площадку, укрупняются в монтажные блоки, бетонируются и собираются в кольцевую конструкцию.

Установка СЗ в шахту реактора показана на рис. 1.

В СЗ имеются различные каналы. По 30 каналов размещаются в каждой из двух концентрических окружностей бетонной шахты, из них по 27 каналов задействовано для перемещения ИК и их противовесов. Три канала каждой окружности предназначены для охлаждения воздухом бетона шахты и опорной фермы.

Технология изготовления СЗ включает в себя следующие этапы.

- Сборка металлической облицовки блока нижнего кольца.
- Бетонирование нижнего кольца СЗ.
- Гамма-гамма-каротаж (ГГК) и нейтрон-нейтронный каротаж (ННК) нижнего кольца до термообработки.
- Термообработка нижнего кольца.
- Повторные гамма-гамма и нейтрон-нейтронный каротажи конструкции нижнего кольца СЗ после термообработки.

Аналогичные действия повторяются и для верхнего кольца СЗ.

- Монтаж СЗ в шахту реактора.

Укладка бетона в подготовленную металлическую облицовку осуществляется через открытые верхние проемы фланца. Она ведется непрерывно и равномерно по всему периметру корпуса слоями по 25 см. При этом укладку бетона каждого следующего слоя выполняют, убедившись в заполнении смесью карманов и пазух в каждой внутренней ячейки после вибрирования. Перерыв между укладкой слоев бетона не должен превышать 45 мин. Каждая партия приготовленной смеси должна быть уложена в корпус СЗ не позднее, чем через 60 минут после ее отгрузки.

Для улучшения укладки бетонной смеси и увеличения химически связанной воды применяются различные суперпластификаторы и добавки [11–13]. На Белорусской АЭС использован суперпластификатор марки Линамикс СП-180.

Плотность и влажность бетона СЗ определялись каротажной аппаратурой АКП-300. Регистратор установки РПК-1 обеспечивает:

- регистрацию за 50 с, графическое изображение и запись измеряемых параметров с дискретностью 0,1 м, повторяемых три раза;
- измерение частоты следования импульсов от датчиков зондов и преобразование ее в численные значения.

Комплексный прибор (зонд) радиоактивного каротажа используется для одновременной регистрации рассеянного гамма-излучения (для ГГК) — определение плотности бетона — и вторичного рассеянного нейтронного излучения (для ННК) — определение влажности бетона. Для этого к основанию зонда накручивается конус с гамма источником цезий-137 активностью $3{,}7 \cdot 10^8$ Бк и с плутоний-бериллиевым источником быстрых нейтронов активностью $12{,}9 \cdot 10^9$ Бк.

Для измерения распределения однородности остаточной объемной влажности в бетоне использовался прибор ИВН-6. Принцип измерения основан на регистрации счетчиком СИ19Н тепловых нейтронов, рассеянных в результате взаимодействия быстрых нейтронов с ядрами атомов исследуемого материала, в основном с ядрами водорода.

Регистрация импульсов плотности и влажности бетона СЗ производилась в условных единицах[5], и результаты измерения могут быть пересчитаны в количественные данные.

Целью термообработки является удаление капиллярной, физически связанной и частично химически связанной воды, что приводит к стабилизации физико-технических характеристик в объеме блоков и обеспечении эффективной и корректной работы контрольных приборов [5–7]. Термообработка является наиболее дорогостоящей и ответственной операцией по сооружению СЗ[6] [12–14].

Термообработка бетона выполняется после бетонирования и выдержки бетона не менее 48 ч. Это необходимо для набора бетоном прочности не менее 70 %. Прочность бетона определяется по результатам испытаний контрольных образцов.

[5] ГОСТ Р 50779.21–2004. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Ч. 1. Нормальное распределение.

[6] Инструкция И.32Г-84. Приготовление и укладка серпентинитового и железосерпентинитового бетонов в конструкции биологической защиты.

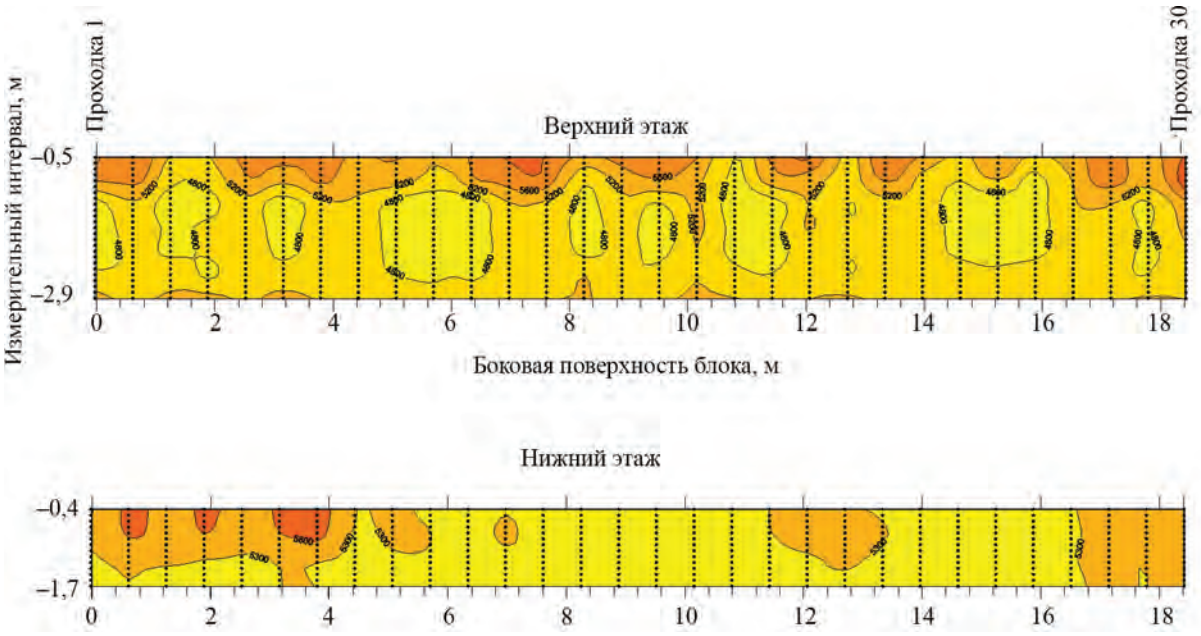


Рис. 2. Вертикальные разрезы ГГК вдоль боковой поверхности блоков до термообработки

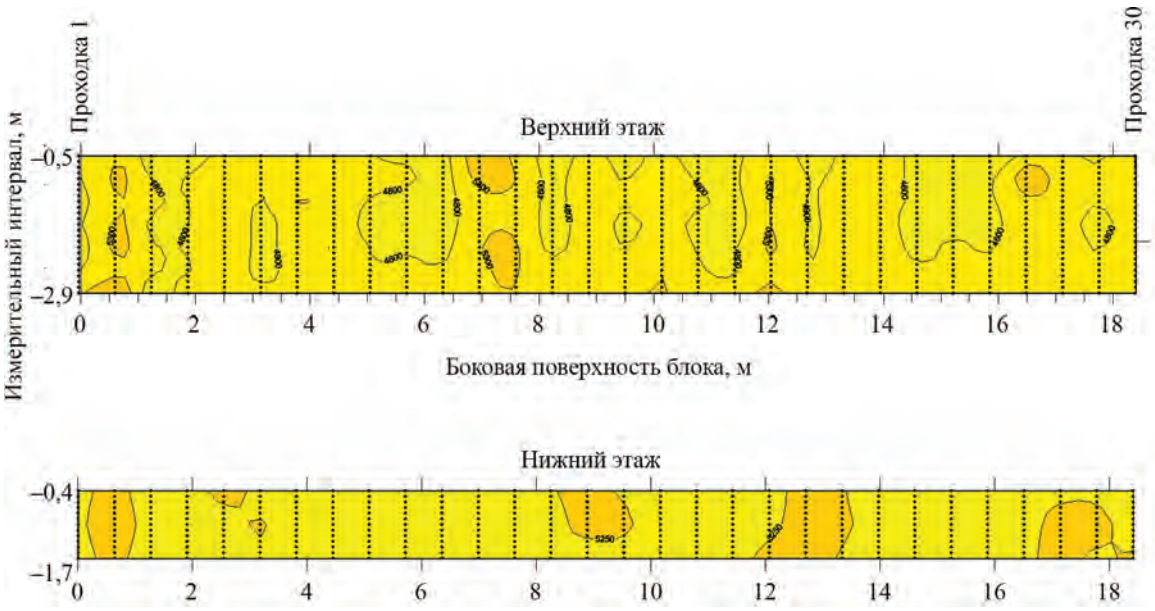


Рис. 3. Результаты ГГК вдоль боковой поверхности блоков после термообработки

Контроль режима нагрева и выдержки блоков СЗ [6, 9] при термообработке осуществляется термодатчиками Pt 100 с выводом сигнала на многоканальный пульт АМСС-158-М, позволяющий вести регистрацию параметров сушки и термообработки с записью на диск-накопитель.

Бетон считается термически обработанным при неизменной массе контрольных образцов-имитаторов в несъемной металлической опалубке.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Измерения скорости счета ГГК до и после термообработки приведены на рис. 2 и 3, а ННК — на рис. 4 и 5. На этих рисунках приведены изолинии скорости счета ГГК и ННК.

Повышенные значения скорости счета измерений ГГК и ННК до термообработки наблюдались в местах соединений блоков СЗ, на верхних и нижних отметках конструкций. Полученные результаты обусловлены недостаточной степенью уплотнения бетонной смеси и сложностью бетонирования из-за

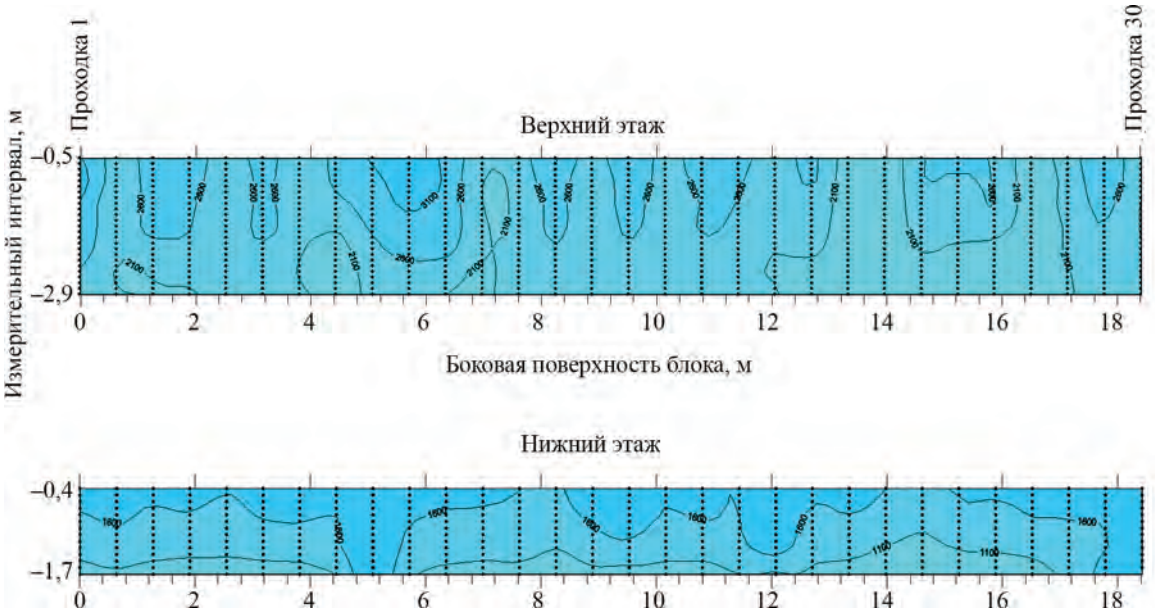


Рис. 4. Результаты ННК вдоль боковой поверхности блоков до термообработки

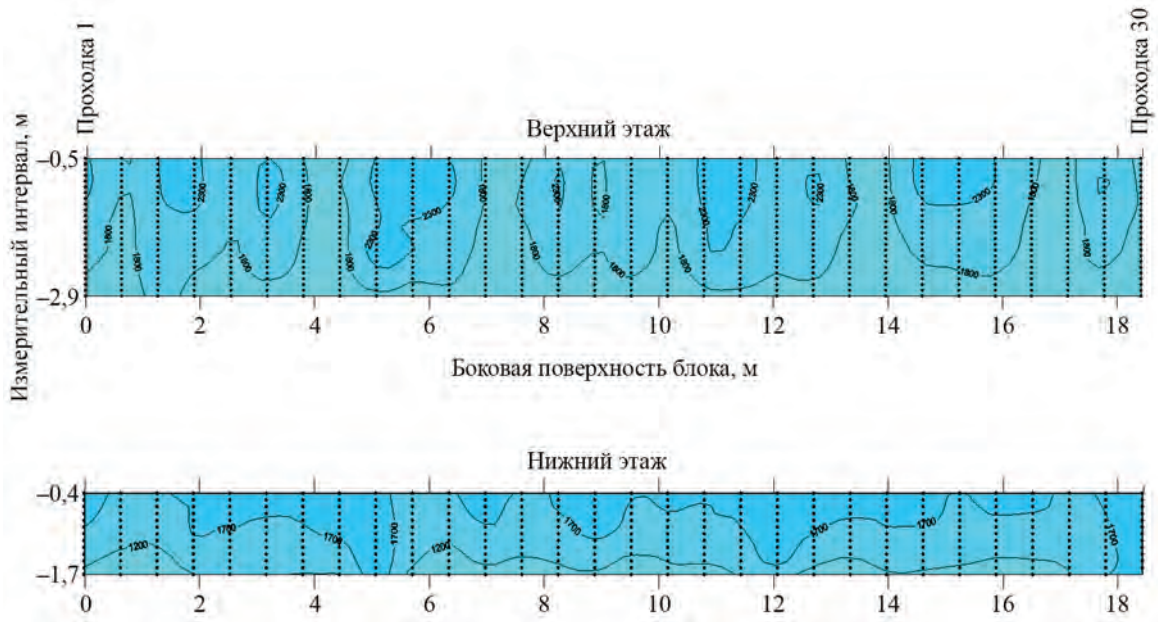


Рис. 5. Результаты ННК вдоль боковой поверхности блоков после термообработки

наличия каналов в СЗ. После термообработки наблюдается выравнивание показателей.

Для определения равномерности плотности и влажности в блоках СЗ рассчитаны[7] [15–17] среднее количества импульсов по проходкам, дисперсии, средние квадратичные отклонения и коэффициенты вариации.

Коэффициент вариации между всеми проходками блоков СЗ ГГК до термообработки равен 12,37 % и после термообработки — 9,5 %, а ННК — соответственно 3,42 и 3,04 %.

По статистике, если коэффициент вариации значительно меньше предельных значений 33 %, то совокупность можно считать однородной.

[7] МУ 210.003-90. Методические рекомендации по проектированию организации строительства атомных станций.
СТО 1.1.1.03.003.0911-2012. Бетоны для строительных конструкций и радиационной защиты атомных электростанций (приложение к приказу ОАО «Концерн Росэнергоатом» от 16.01.2013 г. № 9/22-П).
СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009.
СанПиН 2.6.1.24-03. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций.
СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010).

ВЫВОДЫ

По результатам исследований контроля изменения плотности и влажности СЗ при возведении СЗ Белорусской АЭС можно сделать основные выводы.

Устройство СЗ подразумевает применение серпентинитового бетона. Серпентинитовый бетон достаточно сложный материал. Применение его означает определенные сложности, такие как возможность образования пустот в толще бетона, что недопустимо в таком сооружении, как АЭС. Процесс грамотного и технологически устройства СЗ — принципиально важный в строительстве АЭС. Основная причина применения серпентинита в качестве крупного и мелкого заполнителя для бетона — большое содержание химически связанной воды, что удовлетворяет требованиям как по плотности, так и по содержанию атомов водорода.

Коэффициент вариации между всеми проходками блоков СЗ ГГК и ННК после термообработки равны 9,5 и 3,04 % соответственно. Указанные значения показывают равномерное распределение плотности серпентинитового бетона СЗ и атомов водорода. Это значит, что СЗ Белорусской АЭС удовлетворяет заданным требованиям по плотности и влажности — по содержанию атомов водорода в бетоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gibb C.D.* Some engineering problems of nuclear power stations; The PWR nears completion. Pressure vessel at Shippingport; Pascaget PSR`s to be built in UK // Nuclear Power. 1957. No. 11.

2. Atomic power in France; First French nuclear power station to the built in Indre and Loire district // Electric Journal. 1956. No. 12. 157.

3. *Комаровский А.Н.* Строительство ядерных установок. 3-е изд., доп. и перераб. М. : Атомиздат, 1969. 503 р.

4. *Болятко В.В., Кулаковский М.Я., Миронов В.Н. и др.* Радиационная защита на атомных электростанциях / под ред. А.П. Суворова, С.Г. Цыпина. М. : Атомиздат, 1978. 263 р.

5. *Аршинов И.А., Васильев Г.А., Егоров Ю.А. и др.* Серпентинит в защите ядерных реакторов / под общ. ред. Ю.А. Егорова М. : Атомиздат, 1972. 238 с.

6. *Жолдак Г.И.* О тепловой стойкости серпентинитового бетона для защиты реактора АЭС // Сборник трудов МИСИ им. ВВ. Куйбышева. № 165: Строительство электростанций на ядерном и органическом топливе / под ред. В.Б. Дубровского, Н.Я. Турчина. М., 1979.

7. *Дубровский В.Б., Лавданский П.А., Енговатов И.А.* Строительство атомных электростанций. 3-е изд. М. : Изд-во АСВ, 2006. Т. 1. 332 с.

8. *Жолдак Г.И.* Материалы и конструкции сухой защиты реактора ВВЭР-1000. М. : Информэнерго, 1984. 24 с. (Энергетика и электрификация : Обзорная информация / ЦНТИ по энергетике и электрификации. Серия 3. Атомные электростанции ; Вып. 2)

9. *Жолдак Г.И., Лавданский П.А., Пергаменщик Б.К. и др.* Возведение сухой защиты реактора ВВЭР-1000 // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 12. С. 58–60.

10. *Есенов А.В., Пустоагвр А.П., Лавданский П.А., Пергаменщик Б.К.* Инновационная «сухая» защита реактора ВВЭР-ТОИ // Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР : мат. конф. ОАО ОКБ «Гидропресс». 28–31 мая 2013 г. Режим доступа: http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2013/autorun/article124-ru.htm.

11. *Пустовгар А.П., Лавданский П.А., Есенов А.В. и др.* Влияние суперпластификаторов и оксида кальция на гидратацию цемента в серпентинитовом бетоне // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. Серия: Политематическая. 2014. Вып. 2 (33). Режим доступа: http://vestnik.vgasu.ru/attachments/10PustovgarLavdanskiiEsenovMedvedevEreminVedenin-2014_2(33).pdf.

12. *Пустовгар А.П., Бурьянов А.Ф., Василик П.Г.* Особенности применения гиперпластификаторов в сухих строительных смесях // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 62–65.

13. *Поспелов В.П., Миренков А.Ф., Покровский С.Г.* Бетоны радиационной защиты атомных электростанций. М. : Август Борг, 2006. 652 с.

14. *Жолдак Г.И., Лавданский П.А., Пергаменщик Б.К., Мухин Е.Н.* Совершенствование контроля качества сухой защиты АЭС // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. № 6. С. 54–55.

15. Annals of the ICRP. 1977. Vol. 1. No. 3 : Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. (ICRP Publication. 26).

16. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection : Users Edition. 1990. (ICRP Publication. 60).

17. Annals of the ICRP. Vol. 21. No. 4: Annuals Limits on Intake of Radionuclides by Workers Based on the 1990 Recommendations. (ICRP Publication. 61).

Поступила в редакцию в июле 2017 г.
Принята в доработанном виде в августе 2017 г.
Одобрена для публикации в сентябре 2017 г.

Об авторах: **Бушуев Николай Иванович** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительства объектов тепловой и атомной энергетики, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, bush_ni@mail.ru;

Введенская Анна Сергеевна — магистр, **Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева (НИИЖБ им А.А. Гвоздева)**, 109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., д. 6, корп. 5, annavved@yandex.ru.

REFERENCES

1. Gibb C.D. Some Engineering Problems of Nuclear Power Stations; the PWR Nears Completion. Pressure Vessel at Shippingport; Pascaget PSR`s to Be Built in UK. *Nuclear Power*. 1957, no. 11.

2. Atomic Power in France; First French Nuclear Power Station to the Built in Indre and Loire District. *Electric Journal*. 1956, no. 12, 157.

3. Komarovskiy A.N. *Stroitel'stvo yadernykh ustanovok* [Construction of Nuclear Facilities]. 3 ed. Moscow, Atomizdat Publ., 1969, 503 p. (In Russian)

4. Bolyatko V.V., Kulakovskiy M.Ya., Mironov V.N. et al. *Radiatsionnaya zashchita na atomnykh elektrostantsiyakh* [Radiation Protection at Nuclear Power Plants]. Moscow, Atomizdat Publ., 1978, 263 p. (In Russian)

5. Arshinov I.A., Vasil'ev G.A., Egorov Yu.A. et al. *Serpentinit v zashchite yadernykh reaktorov* [Serpentinite in the Protection of Nuclear Reactors]. Moscow, Atomizdat Publ., 1972, 238 p. (In Russian)

6. Zholdak G.I. O teplovoy stoykosti serpentinitovogo betona dlya zashchity reaktora AES [On the Thermal Stability of Serpentinite Concrete for the Protection of a Nuclear Power Plant]. *Sbornik trudov MISI im. V.V. Kuybysheva* [Collected Works of the Moscow Institute of Civil Engineering named after V.V. Kuibyshev], no. 165: Stroitel'stvo elektrostantsiy na yadernom i organicheskom toplive [Construction of Power Plants on Nuclear and Organic Fuels]. Moscow, 1979. (In Russian)

7. Dubrovskiy V.B., Lavdanskiy P.A., Engovatov I.A. *Stroitel'stvo atomnykh elektrostantsiy* [Construction of Nuclear Power Plants]. 3rd ed. Moscow, ASV Publ, 2006, vol. 1, 332 p. (In Russian)

8. Zholdak G.I. *Materialy i konstruktsii sukhoy zashchity reaktora VVER-1000 : obzornaya informatsiya* [Materials and Designs of Dry Protection of the VVER-1000 Reactor: Overview Information]. Moscow, Informenergo Publ., 1984, 24 p. (In Russian)

9. Zholdak G.I., Lavdanskiy P.A., Pergamenshchik B.K. et al. Vozvedenie sukhoy zashchity reaktora VVER-1000 [Erection Works with the Dry Protection Structures for the "VVER — 1000" Reactor]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Construction Materials, the Equipment, Technologies of XXI Century]. 2005, no. 12, pp. 58–60. (In Russian)

10. Esenov A.V., Pustoagvr A.P., Lavdanskiy P.A., Pergamenshchik B.K. Innovatsionnaya sukhaya zashchita reaktora VVER-TOI [Innovative "Dry" Shield for VVER-TOI Reactor]. *Obespechenie bezopasnosti AES s VVER : materialy konferentsii OAO OKB «Gidropress». 28–31 maya 2013 g.* [Safety Assurance of NPP with WWER: Transactions of the Conference. OAO Experimental Design Bureau "GIDROPRESS", May 28–31, 2013]. Available at: http:// www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2013/autorun/article124-ru.htm. (In Russian)

11. Pustovgar A.P., Lavdanskiy P.A., Esenov A.V. et al. Vliyanie superplastifikatorov i oksida kal'tsiya na gidrotatsiyu tsementa v serpentinitovom betone [Influence of Superplasticizer and Calcium Oxide on Cement Hydration in Serpentine Concrete]. *Internet-Vestnik VolgGASU Seriya: Politematicheskaya* [Internet Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Polythematic]. 2014, issue. 2 (33). Available at: http://vestnik.vgasu.ru/attachments/10PustovgarLavdanskiiEsenovMedvedevEreminVedenin-2014_2(33).pdf. (In Russian)

12. Pustovgar A.P., Bur'yanov A.F., Vasilik P.G. Osobennosti primeneniya giperplastifikatorov v sukhikh stroitel'nykh smesyakh [Features of the Use of Hyperplasticizers in Dry Building Mixes]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2010, no. 12, pp. 62–65. (In Russian)

13. Pospelov V.P., Mirenkov A.F., Pokrovskiy S.G. *Betony radiatsionnoy zashchity atomnykh elektrostantsiy* [Radiation Protection Concretes of Nuclear Power Plants]. Moscow, Avgust Borg Publ., 2006, 652 p. (In Russian)

14. Zholdak G.I., Lavdanskiy P.A., Pergamenshchik B.K., Mukhin E.N. Sovershenstvovanie kontrolya kachestva sukhoy zashchity AES [Technology and Equipment for the Repair Works with Multi-Layer Roofing Structures]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Construction Materials, the Equipment, Technologies of XXI Century]. 2004, no. 6, pp. 54–55. (In Russian)

15. *Annals of the ICRP. 1977, vol. 1, no. 3 : Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.* (ICRP Publication. 26).

16. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection : Users Edition.* 1990. (ICRP Publication. 60).

17. *Annals of the ICRP. 1991, vol. 21, no. 4: Annuals Limits on Intake of Radionuclides by Workers Based on the 1990 Recommendations.* (ICRP Publication. 61).

Received in July 2017.
Adopted in revised form in August 2017.
Approved for publication in September 2017.

About the authors: **Bushuev Nikolay Ivanovich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction of Heat and Nuclear Power Facilities, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; bush_ni@mail.ru.

Vvedenskaya Anna Sergeevna — Master, **Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after. A.A. Gvozdev (NIIZhB)**, 6, Bldg. 5, 2ya Institutskaya st., Moscow, 109428, Russian Federation; annavved@yandex.ru.