

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНГИБИТОРА СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ «НАЛКО 1392» В ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС

Д.М. Дронов*, А.В. Гонтовой, Е.Н. Саркисян*, Н.В. Карандеева***

* *Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция» 396072, Воронежская обл., г. Нововоронеж, промышленная зона Южная, 1*

** *ООО «Компания Налко»*

115114, г. Москва, ул. Летниковская, д. 10, ст. 4



Большое количество воды на предприятиях энергетической промышленности расходуется на охлаждение пара в конденсаторах паровых турбин, смазочных масел, газа и воздуха турбоагрегатов. Основным требованием, предъявляемым к качеству охлаждающей воды, является обеспечение нормального вакуума в конденсаторах. Охлаждающая вода не должна вызывать образование в системе отложений минерального и биологического характера, а также продуктов коррозии. Наличие отложений минеральных солей в трубной системе конденсаторов, а также во вспомогательных системах охлаждения приводит к ухудшению теплообмена, существенному снижению экономичности эксплуатации энергетического оборудования и требует проведения периодических очисток теплообменного оборудования. Исходная вода, используемая для охлаждения, обычно берется из ближайших водоемов (больших рек или озер). Наиболее часто используемая схема технического водоснабжения – оборотная, при которой для охлаждения многократно используется один и тот же запас воды и требуется лишь небольшая добавка для восполнения потерь за счет испарения. Охладителями в этом случае служат градирни, брызгальные бассейны и пруды-испарители. Водно-химический режим должен обеспечивать работу оборудования без повреждений его элементов и снижения экономичности, вызванных коррозией внутренних поверхностей, а также без образования накипи и шлама. Именно при оборотной схеме водоснабжения наиболее целесообразным является проведение программы стабилизационной обработки, обеспечивающей экономичный и экологичный режим работы. С целью подавления процессов накипобразования на теплообменных поверхностях труб конденсаторов турбин энергоблока № 5 Нововоронежской АЭС применена обработка охлаждающей воды ингибитором «Налко 1392». Приведены результаты опытно-промышленных испытаний ингибитора «Налко 1392» в системе циркуляционного водоснабжения (с прудом-охладителем).

Ключевые слова: процессы накипобразования, система циркуляционного водоснабжения, ингибитор солеотложений, «Налко 1392».

В процессе эксплуатации оборотной системы водоснабжения Нововоронежской атомной электростанции (НВАЭС) при нагреве происходит перенасыщение охлаждающей воды солями, в первую очередь, карбонатом кальция, что приводит к образованию накипи на теплообменных поверхностях [1, 2]. Наличие накипи и отложений ухудшает теплообмен, снижает эффективность работы оборудования, вследствие чего увеличиваются экономические потери.

Для устранения причин образования карбонатно-кальциевых отложений на теплообменном оборудовании в мировой практике широко применяется подкисление добавочной воды, требующее высоких затрат [3, 4]. Альтернативным способом устранения отрицательного влияния высокой карбонатной жесткости воды является поддержание такого водно-химического режима в системе, при котором образующиеся кристаллы накипи стабилизируются в толще воды действием ингибитора солейотложений и не выпадают на теплопередающей поверхности [5, 6].

Скорость отложений труднорастворимых солей на теплообменной поверхности зависит от качества исходной воды, величины пересыщения, метода ингибирования, удельных тепловых потоков и др. [7]. В частности, на образование отложений, состоящих из карбоната кальция, влияют содержание в охлаждающей воде общей жесткости, общей щелочности, температура охлаждающей воды.

Для увеличения предела растворимости солей жесткости и модификации строения образующихся кристаллов в циркуляционную систему водоснабжения энергоблока № 5 НВАЭС с августа 2018 г. по июнь 2019 г. подавался ингибитор на основе модифицированной фосфоновой кислоты – «Налко 1392» (табл. 1).

Таблица 1

Основные физико-химические свойства ингибитора «Налко 1392»

Внешний вид	Жидкость
Цвет	Прозрачный
Запах	Незначительный
pH	0 – 2,1 ед.
Температура замерзания	-15°С
Относительная плотность	1,32 г/см ³

В действии ингибиторов солейотложений на процесс кристаллизации малорастворимых солей из пересыщенных водных растворов различают три механизма:

- ингибитор, адсорбируясь на поверхности возникшего зародыша кристалла (центра кристаллизации), препятствует его дальнейшему росту – так называемый пороговый механизм или стабилизирование пересыщенного раствора;
- ингибитор, адсорбируясь на активно растущей поверхности кристалла и на дефектах кристаллической решетки, останавливает или замедляет рост кристалла, а также может изменять кристаллическую решетку (ингибирование роста кристаллов);
- ингибитор, адсорбируясь на поверхности кристаллов, препятствует взаимодействию кристаллов между собой и их агрегированию в однородные отложения (дисперсионный механизм).

Ингибиторы солейотложения проявляют три механизма действия одновременно [8].

Необходимо отметить, что до начала реагентной обработки поверхности трубок конденсаторов турбин турбоагрегатов (ТА) были очищены от карбонатных отложений разными способами:

- на ТА-14 была проведена химическая и гидромеханическая очистка трубок;
- конденсатор ТА-13 был очищен только гидромеханически.

В связи с этим состояние поверхностей трубок конденсаторов ТА-13 и ТА-14 на начальном этапе было различным, что необходимо учитывать при анализе результатов, поскольку недоочищенные «старые» отложения служат центрами кристаллизации, снижают, таким образом, эффективность обработки.

Поддержание рабочей концентрации реагента в охлаждающей воде обеспечивалось непрерывной подачей раствора с расходом 3 – 6 л/ч во всасывающие камеры циркуляционных насосов.

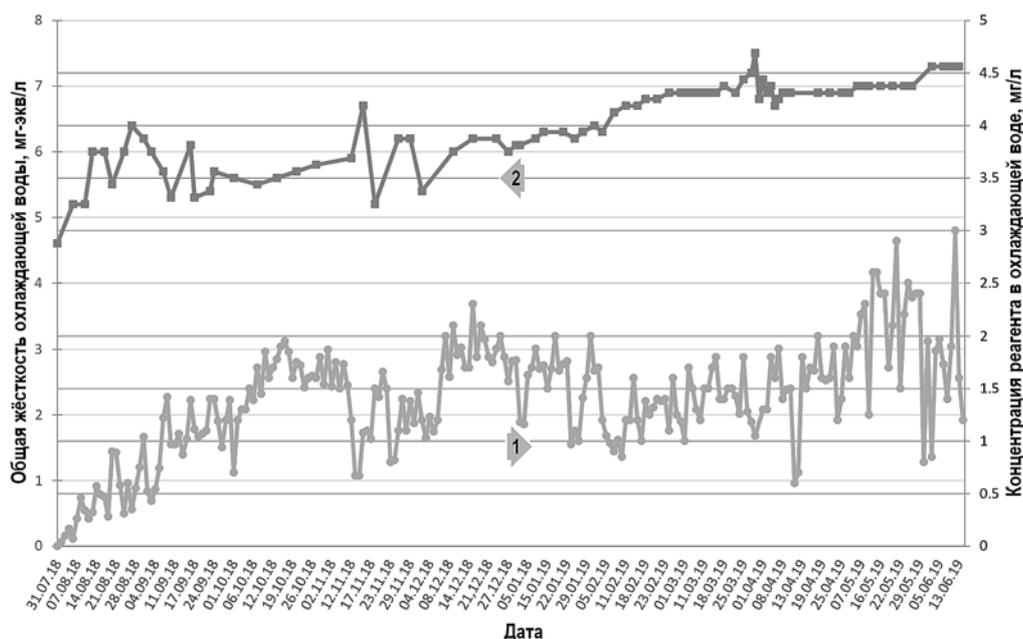


Рис. 1. Изменение концентрации реагента «НАЛКО 1392» и общей жесткости охлаждающей воды: 1 – концентрация реагента «НАЛКО 1392» в охлаждающей воде; 2 – общая жесткость охлаждающей воды

На рисунке 1 приведены графики, отражающие изменение общей жесткости охлаждающей воды и содержание реагента «Налко 1392».

Общая жесткость охлаждающей воды колебалась в интервале 5,0 – 7,2 мг-экв/л, что соответствует принятым для расчета дозировки ингибитора значениям. Увеличение концентрации реагента в конце испытательного периода наиболее вероятно связано с его накоплением в системе.

Общая жесткость воды – сумма молярных концентраций эквивалентов ионов кальция ($1/2 \text{Ca}^{2+}$) и магния ($1/2 \text{Mg}^{2+}$) в воде. Измерение величины общей жесткости выполняют комплексонометрическим титрованием, которое основано на свойстве ионов кальция и магния образовывать комплексные соединения с некоторыми красителями, в частности, с индикатором хромовым темным-синим. Прочность этих комплексов значительно меньше, чем прочность комплексов катионов кальция и магния с трилоном Б, поэтому добавление раствора трилона Б к окрашенным индикатором растворам, содержащим ионы кальция и магния, разрушает их, восстанавливая цвет свободного индикатора [9].

На рисунке 2 показана динамика изменения содержания ионов кальция в охлаждающей воде на входе и выходе из конденсатора ТА-14.

Как следует из рисунка, концентрации ионов кальция на входе и на выходе конденсатора в рассматриваемый период равны, что является косвенным признаком отсутствия образования нерастворимых кальциевых соединений. В случае перехода кальция в нерастворимую форму и образования карбоната кальция наблюдалось бы снижение содержания кальция в воде на выходе из конденсатора.

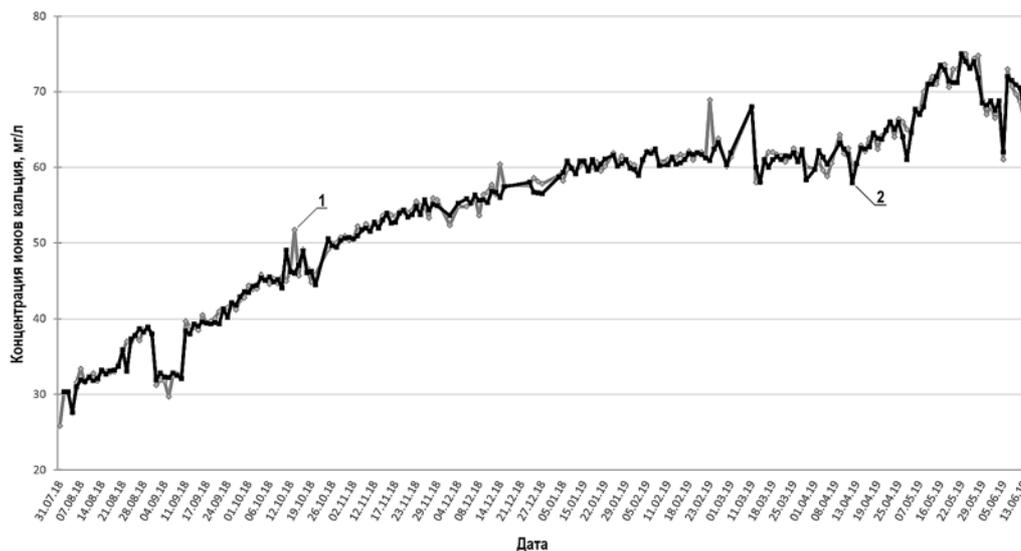


Рис. 2. Содержание ионов кальция в охлаждающей воде на входе и выходе конденсатора: 1 – концентрация ионов кальция на входе в конденсатор ТА-14; 2 – концентрация ионов кальция на выходе из конденсатора ТА-14

В качестве параметра, определяющего тенденцию образования минеральных отложений на трубках конденсатора, использован такой интегральный показатель теплопередачи, как температурный напор конденсатора, определяемый по формуле [10]

$$\delta t = t_s - t_{ов}$$

где t_s – температура насыщения отработавшего пара в конденсаторе, °С, соответствующая фактическому абсолютному давлению пара в конденсаторе; $t_{ов}$ – фактическая температура охлаждающей воды на выходе из конденсатора, °С.

Нормативное значение абсолютного давления отработавшего пара определяется по нормативной характеристике конденсатора при фактических значениях температуры охлаждающей воды, расходе пара в конденсатор и расходе охлаждающей воды в отчетном периоде. Для турбины с последовательным подключением секций конденсатора по охлаждающей воде фактическое и нормативное абсолютное давление отработавшего пара определяется по каждой секции в отдельности, а в целом по конденсатору представляются среднеарифметические значения давлений по отдельным секциям [10].

Температурный напор конденсатора (как и практически любого теплообменного аппарата) представляет собой, как и общий коэффициент теплопередачи, наиболее полный и универсальный критерий эффективности процесса передачи тепла от отработавшего пара к охлаждающей воде. При этом следует учитывать, что в отличие от коэффициента теплопередачи, который может быть получен не путем непосредственных измерений, а лишь с помощью расчетов, температурный напор определяется достаточно просто и поэтому широко используется в эксплуатации. При определении температурного напора расчетным путем для конкретной турбинной установки учитывают, главным образом, расход и температуру охлаждающей воды на входе, а также расход пара [11].

На температурный напор конденсатора влияют практически все основные факторы, характеризующие условия эксплуатации и состояние отдельных элементов конденсационной установки: паровая нагрузка, температура и расход охлаждающей воды, воздушная плотность вакуумной системы, состояние поверхности трубок, количество заглушенных трубок, эффективность работы воздухоудаляющих устройств и другие.

Изменения температурных напоров конденсатора ТА-13 до начала обработки в 2016 – 2017 гг., 2017 – 2018 гг. и в период выполнения обработки 2018 – 2019 гг. показаны на рис. 3.

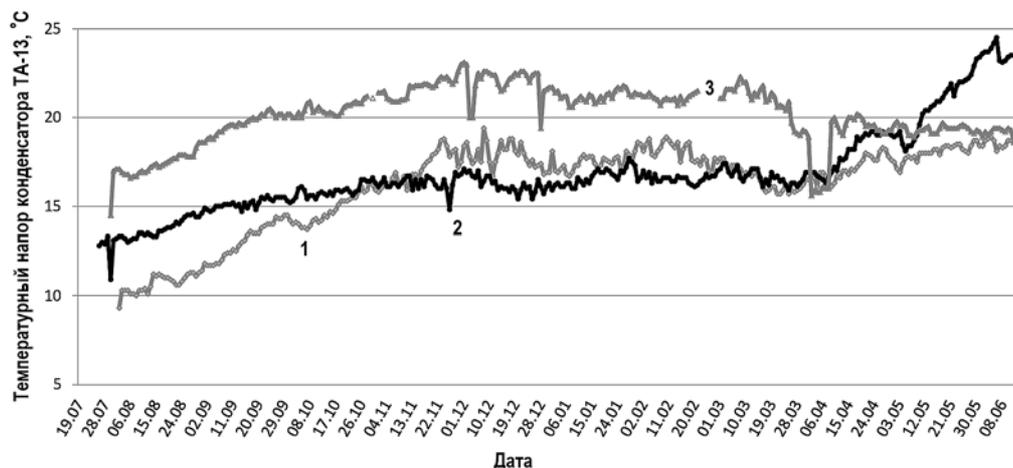


Рис. 3. Изменение температурного напора конденсатора ТА-13: 1 - температурный напор в 2016-2017 гг.; 2 - температурный напор в 2017-2018 гг.; 3 - температурный напор в 2018-2019 гг.

Как видно из приведенного рисунка, проводимая в 2018 – 2019 гг. реагентная обработка охлаждающей воды положительно отразилась на изменении температурного напора конденсатора ТА-13. Несмотря на то, что уровень температурного напора был выше, чем в предыдущие годы (по-видимому, это связано с недостаточно эффективной очисткой теплопередающих поверхностей в период планово-предупредительного ремонта), температурный напор в топливную кампанию 2018 – 2019 гг. практически не изменился и остался на уровне, соответствующем началу работы конденсатора после планово-предупредительного ремонта (ППР) в 2018 г.

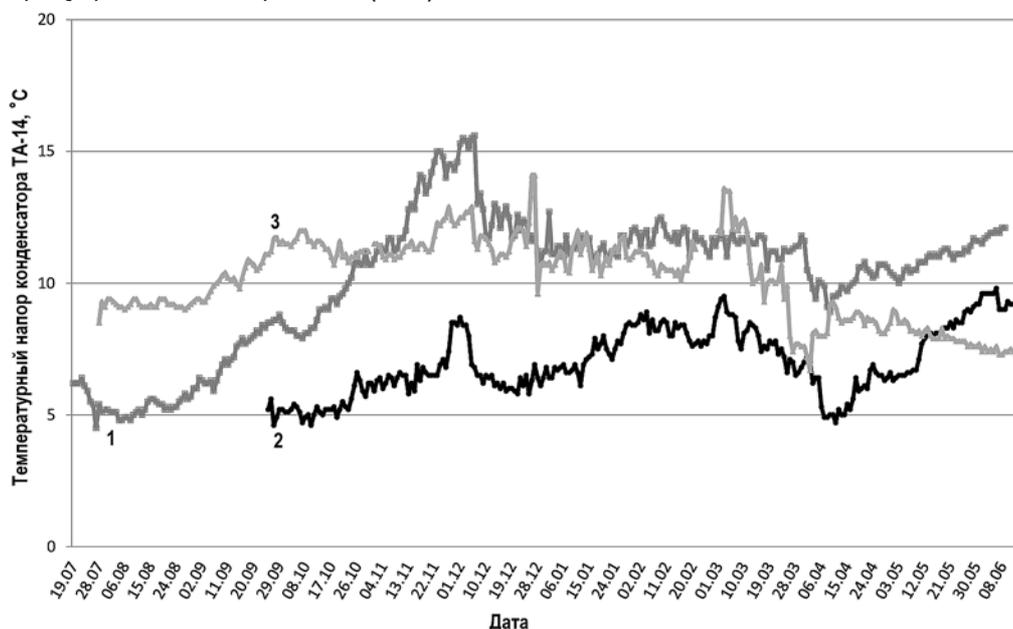


Рис. 4. Изменение температурного напора конденсатора ТА-14: 1 - температурный напор в 2016-2017 гг.; 2 - температурный напор в 2017-2018 гг.; 3 - температурный напор в 2018-2019 гг.

На рисунке 4 представлены изменения температурных напоров конденсатора ТА-13 до начала обработки в 2016 – 2017 гг., 2017 – 2018 гг. и в период выполнения обработки 2018 – 2019 гг.

Снижение значений температурных напоров в течение испытательного периода сви-

детельствует о положительных результатах обработки охлаждающей воды. Более того, наблюдается снижение температурного напора относительно величин, зафиксированных после планово-предупредительного ремонта в 2018 г.

При внутренних осмотрах конденсаторов во время ППР после применения реагента «Налко 1392» было зафиксировано отсутствие новых минеральных отложений на поверхностях трубок. Отмечено снижение адгезии старых отложений к теплопередающей поверхности, что выражается в более легкой и быстрой очистке конденсаторов.

ВЫВОДЫ

Проводимая в 2018 – 2019 гг. реагентная обработка охлаждающей воды ингибитором солеотложений позволила ограничить процесс накипеобразования на трубках конденсатора ТА-13 и снизить температурные напоры конденсатора ТА-14.

Для повышения эффективности обработки требуется качественная очистка поверхностей трубок от карбонатных отложений.

С целью подтверждения полученных результатов необходимо продолжить обработку охлаждающей воды системы водоснабжения энергоблока № 5 НВАЭС ингибитором солеотложений «Налко 1392» после химической очистки и удаления отложений.

Литература

1. *Власова Г.* Особенности эксплуатации систем водяного охлаждения конденсаторов. // Энергосбережение и водоподготовка. – 2007. – № 4. – С. 5-6.
2. *Витковский С.Л., Данилов А.П., Щедрин М.Г., Колягина И.А.* Опыт освоения проектной химической технологии при пусконаладочных работах и вводе блока в промышленную эксплуатацию. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2017. – № 3. – С. 172-182. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2017.3.16>.
3. *Головатенко Е.Л.* Анализ методов предотвращения и удаления карбонат-кальциевого отложения на поверхностях нагрева. // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновации в строительстве – 2018», 22-24 ноября 2018. – Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2018. – С. 166-169.
4. *Галанин А.В., Воробьев С.А., Карандеева Н.В.* Исследование ингибиторов солеотложений для ведения водно-химического режима системы основной охлаждающей воды с башенными испарительными градирнями. // Ядерная и радиационная безопасность. – 2019. – № S1. – С. 80-84.
5. *Иванова Я.Ю., Черкасова Т.Г.* Стабилизационная обработка оборотной и теплофикационной воды. // Сб. материалов III Всероссийской конференции «Химия и химическая технология: достижения и перспективы». 16-17 ноября 2016. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2016. – С. 10.
6. Методические рекомендации по применению антинакипинов и ингибиторов коррозии ОЭДФК, АФОН 200-60А, АФОН 230-23А, ПАФ-13А, ИОМС-1 и их аналогов, проверенных и сертифицированных в РАО «ЕЭС России», на энергопредприятиях». Электронный ресурс: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293791/4293791005> (дата доступа 12.10.2020).
7. *Кишнеvский В.А., Чиченин В.В.* Исследование процессов карбонатных отложений на теплообменных поверхностях конденсаторов. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 8. – С. 52-58.
8. *Ага-заде Алескер Дадаш, Самедов Атамалы Маджид, Гасанов Худаяр Исмаил, Алсафарова Метанет Эльдар.* Исследование ингибирующих свойств новых реагентов солеотложения. // Булатовские чтения. Сборник статей. – 2019. – С. 23-27.
9. СТО 1.1.1.07.003.0727-2014. Лабораторный химический анализ вод атомных электростанций с водо-водяным энергетическим реактором. Методики измерений». – М.: АО «Концерн Росэнергоатом», 2015. – 50 с.
10. МУ 1.2.1.16.0104-2012. Методические указания по составлению технического от-

чета об эффективности и тепловой экономичности работы атомной электростанции. Электронный ресурс: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293764/4293764702.pdf> (дата доступа 12.10.2020)

11. Ильенко А.Д., Мироненко А.В., Ефимов Н.Н., Шестаченко И.Я., Ларин А.А. Оптимизация режимов работы конденсаторов паровых турбин с учетом стоимости охлаждающей воды. // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2006. – № 3. – С. 43-45.

Поступила в редакцию 16.10.2020 г.

Авторы

Дронов Дмитрий Михайлович, заместитель начальника химического цеха

E-mail: DronovDM@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Гонтовой Александр Викторович, руководитель подразделения

E-mail: avgontovoy@ecolab.com

Саркисян Елена Николаевна, инженер-химик по эксплуатации

E-mail: SarkisyanEN@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Карандеева Наталья Владимировна, инженер-химик по эксплуатации

E-mail: KarandeevaNV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

UDC 66.097.8

EXPERIENCE OF USING THE NALCO 1392 SCALE INHIBITOR IN THE CIRCULATING WATER SUPPLY SYSTEM OF THE NOVovorONEZH NPP

Dronov D.M. *, Gontovoy A.V. **, Sarkisyan E.N. *, Karandeeva N.V.*

* Branch of JSC «Concern Rosenergoatom» Novovoronezh NPP

1 Industrial Zone Yuzhnaya, 396072 Novovoronezh, Voronezh Reg., Russia

NALCO Company LLC

4, Bldg 10 Letnikovskaya Str., 115114 Moscow, Russia

ABSTRACT

Power industry enterprises use a large amount of water for cooling steam in steam turbine condensers or lubricating oils, gas and air of turbine units. The main requirement for the quality of the cooling water is to ensure a normal vacuum in the condensers. The cooling water must not form mineral and biological deposits in the system as well as corrosion products. Deposits of mineral salts in the condenser tube system, as well as in auxiliary cooling systems, lead to deterioration in heat transfer, significantly decreasing the efficiency of the operating power equipment and requiring periodical flushings of the heat exchange equipment. The raw water used for cooling is commonly taken from nearby bodies of water (large rivers or lakes). Circulating water supply systems are the most common: in these systems, the same water inventory is repeatedly used for cooling, and requires only small amounts of make-up for evaporation losses. Coolers, in this case, are cooling towers, spray pools and evaporation ponds. The water chemistry should ensure the operation of the equipment without damage to its components and loss of efficiency caused by corrosion of the internal surfaces as well as without the formation of scale and sludge. Using the circulating water supply scheme, it becomes possible to most effectively carry out a stabilization treatment program that provides an economical and environmentally friendly mode of operation. In order to inhibit scaling on the heat exchange surfaces of the turbine condenser tubes at Novovoronezh-5, the cooling water was treated with the Nalko 1392 inhibitor. The

authors present the results of pilot tests of the Nalko 1392 inhibitor in the circulating water supply system (with a cooling pond).

Key words: scale formation, circulating water supply system, scale inhibitor, Nalko 1392.

REFERENCES

1. Vlasova G. Peculiarities of operation of water cooling systems of condensers. *Energoberezhenie i Vodopodgotovka*. 2007, no. 4, pp. 5-6 (in Russian).
2. Vitkovskiy S.L., Danilov A.P., Shchedrin M.G., Kolyagina I.A. Experience in Development of the Design Chemical Technology during Start-Up and Commissioning of the Unit for Production Operation. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2017, no. 3, pp. 172-182. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2017.3.16> (in Russian).
3. Golovatenko E.L. Analysis of methods of prevention and removal of calcium carbonate deposition on heating surfaces. *Proc. of the International Scientific-Practical Conference «Innovations in Construction – 2018», November 22-24, 2018*. Bryansk. Bryansk State Engineering and Technological University Publ., 2018, pp. 166-169 (in Russian).
4. Galanin A.V., Vorobyev S.A., Karandeyeva N.V. Study of salt Inhibitors for Water-Chemical Regime of the Main Cooling Water System with Tower Evaporative Cooling Towers. *Yadernaya i Radiatsionnaya Bezopasnost'*. 2019, no. S1, pp. 80-84 (in Russian).
5. Ivanova Ya.Yu., Cherkasova T.G. Stabilization Treatment of Circulating and Heating Water. *Proc. of the III All-Russian Conference «Chemistry and Chemical Technology: Achievements and Prospects»*. November 16-17, 2016. Kemerovo. Kuzbass State Technical University n.a. T.F. Gorbachev Publ., 2016, p. 10 (in Russian).
6. Methodological Recommendations on the Use of OEDFK, AFON 200-60A, AFON 230-23A, PAF-13A, IOMS-1 and their Analogues Tested and Certified in RAO «EES of Russia» at Power Enterprises. Available at: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293791/4293791005> (accessed Oct. 12, 2020) (in Russian).
7. Kishnevsky V.A., Chichenin V.V. Research of the Carbonate Deposits Processes on the Heat-Exchange Surfaces of the Condensers. *Vostochno-Evropejsky Zhurnal Peredovykh Tekhnologiy*. 2014, no. 8, pp. 52-58 (in Russian).
8. Agazadeh A.D., Samedov A.M., Hasanov Kh.I., Alsafarova M.E.. Research of Inhibiting Properties of new reagents of salt deposition. *Bulatov Readings. Collection of Articles*. 2019, pp. 23-27 (in Russian).
9. STO 1.1.1.07.003.0727-2014. *Laboratory Chemical Analysis of Waters of Nuclear Power Plants with a Water-Water Power Reactor. Methods of Measurements*. Moscow. JSC «Concern Rosenergoatom» Publ., 2015, 50 p. (in Russian).
10. MU 1.2.1.16.0104-2012. *Methodical Instructions for Preparation of Technical Report on Efficiency and Thermal Efficiency of Nuclear Power Plant Operation*. Available at: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293764/4293764702.pdf> (accessed Oct. 12, 2020) (in Russian).
11. Ilyenko A.D., Mironenko A.V., Efimov N.N., Shestachenko I.Y., Larin A.A. Optimization of Operating Modes of Steam Turbine Condensers in View of Cooling Water Cost. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazsky Region. Tekhnicheskie Nauki*. 2006, no. 3, pp. 43-45 (in Russian).

Authors

Dronov Dmitry Mikhailovich, Deputy Head of Chemical Department

E-mail: DronovDM@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Gontovoy Aleksandr Viktorovich, Head of Department

E-mail: avgontovoy@ecolab.com

Sarkisyan Elena Nikolaevna, Operating Engineer

E-mail: SarkisyanEN@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Karandeeva Natalia Vladimirovna, Operating Engineer

E-mail: KarandeevaNV@nvnpp1.rosenergoatom.ru