

ОСОБЕННОСТИ ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ГЦН ЭНЕРГОБЛОКА БН-600 В УСЛОВИЯХ ДВУХПЕТЛЕВОГО РЕЖИМА РАБОТЫ

Е.Ю. Баданин, П.П. Говоров, В.А. Дрозденко

Белоярская АЭС, г. Заречный



В статье представлены результаты исследования вибрационного состояния насосных агрегатов ГЦН первого контура в двухпетлевом режиме работы энергоблока. Проведен сравнительный анализ и выявлены отличительные особенности в условиях работы насосных агрегатов в этом режиме.

Ключевые слова: вибрация, виброскорость, резонанс, спектрограмма, частота вращения, циркуляционный насос.

Key words: vibration, vibration velocity, resonance, spectrogram, speed, circulation pump.

В случае неготовности или при отключении одной из трех петель теплоотвода допускается работа энергоблока БН-600 на мощности до 70% номинальной. Для поддержания такого временного режима работы энергоблока и обеспечения оптимально высокого энергосъема работа двух главных циркуляционных насосов первого контура (ГЦН-1) осуществляется на меньших частотах вращения.

В начале одной из микрокампаний при подключении ранее отключенной петли выявилась повышенная вибрация двух работающих ГЦН-1 в диапазоне частот вращения 700–780 об/мин по сравнению с режимом работы трех насосных агрегатов на этих же скоростях вращения. Было принято решение провести детальное исследование по выявлению причин попарного попадания агрегатов ГЦН-1 в более «жесткие» условия работы.

Программа работ определяла три этапа попарной работы насосных агрегатов. На каждом этапе работы устанавливались три уровня частот вращения ГЦН-1 в районе 730, 750 и 780 об/мин.

Регистрация виброхарактеристик (ВХ) производилась с помощью приборов стационарной системы виброконтроля «Каскад» и по месту – на насосных агрегатах с применением переносных приборов – сборщиков данных.

Функционально главный циркуляционный насос первого контура (центробежный, вертикальный, погружной, одноступенчатый с нижним гидростатическим подшипником и свободным уровнем) предназначен для обеспечения принудительной циркуляции натрия по соответствующей теплоотводящей петле первого контура.

© **Е.Ю. Баданин, П.П. Говоров, В.А. Дрозденко, 2009**

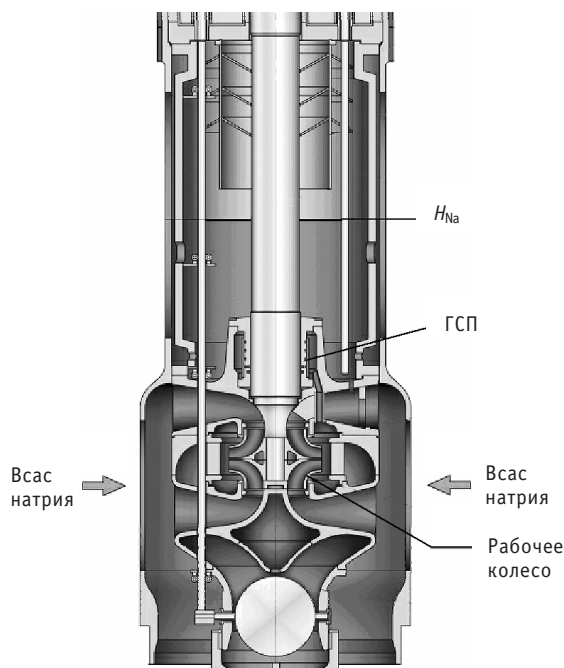


Рис. 1. Схема выемной части насоса первого контура реактора БН-600: H_{Na} – уровень натрия в баке ГЦН-1; ГСП – гидростатический подшипник ГЦН-1

В состав насоса входят выемная часть (рис. 1); электропривод; муфта соединительная и привод обратного клапана.

Насос герметичен по отношению к окружающей среде. Основными узлами выемной части ГЦН-1 являются проточная часть, включающая в себя рабочее колесо двухстороннего всасывания; направляющий аппарат; верхняя и нижняя улитки; крышка насоса; вал; обратный клапан; торцевое масляное уплотнение; стояночное уплотнение; верхний подшипниковый узел; нижний гидростатический подшипник (ГСП). В крышке насоса установлен холодильник вала. Холодильник водяной служит для снятия тепла с вала и обеспечения нормальных температурных условий работы уплотнений и верхнего подшипникового узла (ВПУ) насоса.

Во время проведения программы были зарегистрированы возмущающие воздействия от набора (подъема) оборотов с 690 до 700–710 об/мин, а также на более высоких ступенях регулирования и при снижении частоты вращения. Эти возмущения приводили к всплескам вибрации на ВПУ. Диаграммы виброскорости показывали взаимное влияние агрегатов на их вибрационное состояние, т.е. при регулировании частоты вращения на одном из агрегатов повышалась вибрация на ВПУ другого агрегата.

Работа двух ГЦН-1 на частоте вращения $F_{вр} \sim 730$ об/мин характеризовалась высокими уровнями вибрации на ВПУ обоих агрегатов. Среднеквадратичные значения виброскорости $V_{скз}$ на ВПУ в радиальном и тангенциальном направлениях при частоте вращения около 730 об/мин составили $V_{скз} \sim 4,4\text{--}4,7$ мм/с, что практически равно величине установленного допустимого значения виброскорости [1–3].

Дальнейшее увеличение частоты вращения ГЦН-1 приводило к росту вибрации на ВПУ до высоких пределов.

Анализ спектрограмм вибросигналов показал, что вибрация на ВПУ (в режиме работы двух из трех ГЦН-1 на исследуемом диапазоне частот вращения) генерируется полигармонической амплитудой колебаний 6-й лопастной частоты враще-

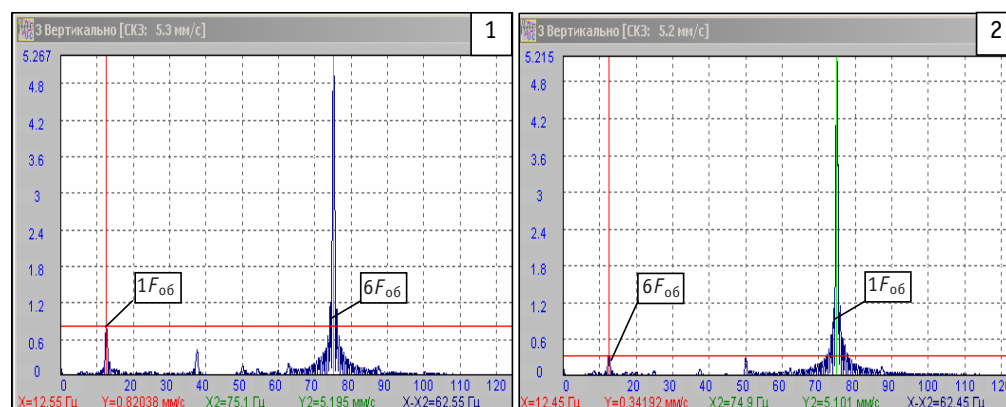


Рис. 2. Спектрограммы сигналов вибрации ВПУ двух ГЦН-1 на частоте вращения ~ 750 об/мин:

1 – ВПУ-радиальный компонент 4ГЦН-1; $1F_{об}$ – амплитуда первой частоты вращения;
2 – ВПУ-радиальный компонент 6ГЦН-1; $6F_{об}$ – амплитуда лопастной частоты вращения

ния ($6F_{об}$), которая образуется вращающимися элементами насоса – шестью рабочими лопатками. Величина вклада амплитуды колебаний $6F_{об}$ составляет более 95% от общего уровня мощности спектра (рис. 2).

Аналогичные по частоте вращения режимы совместной работы трех агрегатов не создают высоких уровней вибрации на ВПУ. Здесь максимумы вибрации при частоте вращения около 770–780 об/мин составляли $\sim 2,6$ – $3,3$ мм/с.

Для выяснения причин перераспределения гидродинамических сил на насосном агрегате, вызывающих увеличение амплитуды колебаний $6F_{об}$, был проведен анализ изменений технологических параметров при проведении программы. Были выявлены отклонения величин уровня натрия в баках ГЦН-1 ($H_{бак}$) в моменты максимальных амплитуд вибрации. Величины уровня натрия в баках двух работающих ГЦН-1 составляли $H_{бак} \sim 400$ – 600 мм и отличались от уровней при трех работающих агрегатах ГЦН-1 в аналогичных режимах.

Сравнительный анализ подобных по скорости вращения режимов работы трех работающих агрегатов ГЦН-1 показал, что уровни вибрации на ВПУ и на агрегатах в целом устанавливаются в допустимых пределах и не усиливаются, как в случае двух работающих агрегатов. Регистрация технологических параметров в моменты максимальных амплитуд вибрации показала, что уровни натрия в баках трех работающих агрегатов ГЦН-1 составляет при этом ~ 1000 – 1200 мм.

Ранее проводимые исследования [4,5] совместной работы трех ГЦН-1 на одну гидравлическую сеть так же подтверждают, что величины виброскорости на ВПУ трех агрегатов на скорости вращения около 750 и 800 об/мин составляли приемлемые величины ($V_{скз} \sim 2,2$ – $2,4$ мм/с), что не более 60% от допустимого значения виброскорости.

Таким образом, было выявлено, что в условиях двухпетлевого режима насосные агрегаты ГЦН первого контура попадают в более «жесткие» условия по сравнению с режимом совместной работы трех насосных агрегатов. Это обусловлено тем, что на частотах вращения $F_{вр} \sim 770$ – 780 об/мин агрегаты имеют максимумы амплитуд колебаний (вибрации) насосов, вызываемые собственными амплитудно-частотными резонансами.

Детальный анализ режимов работы ГЦН-1 и конструктивных особенностей выемной части агрегата показали, что в районе этих (критических) частот вращения происходит наложение (суммирование) амплитуд колебаний собственной резонансной частоты насоса и амплитуды колебаний $6F_{об}$. При этом повышенный уровень вибрации на ВПУ усиливается полигармонической амплитудой колебаний

6-й лопастной частоты вращения насоса. Величина вклада $6F_{06}$ полигармонической амплитуды колебаний в общий уровень вибрации составляет более 95% мощности спектра вибросигнала.

Кроме этого, в случае работы двух из трех агрегатов ГЦН-1 возникают дополнительные условия повышения вибрации. Механизм их возникновения можно представить в виде двух причин:

- снижение уровня натриевого столба в баке ГЦН-1, которое связано с изменением разности давления всасывания и нагнетания натрия, подаваемого в гидростатический подшипник (рис. 1); при этом происходит уменьшение демпфирующих сил упругости рабочего тела – жидкометаллического натрия, что может вызывать потерю устойчивых форм равновесия [3];

- снижение уровня натриевого столба в баке ГЦН-1, вызывающее уменьшение частоты настройки гидроупругой системы с входящим в нее валопроводом насоса. Это происходит как за счет снижения упругости опоры, так и за счет изменения длины свободной («сухой») части валопровода, при этом понижается собственная частота колебаний гидроупругой системы насоса [3].

Эти две причины являются основными в повышении вибрации ГЦН-1 в режиме работы двух из трех агрегатов в исследованном диапазоне скорости вращения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совместная работа любых двух из трех насосных агрегатов ГЦН первого контура на частотах вращения 700–780 об/мин характеризуется высокими уровнями вибрации на ВПУ обоих насосов, которые могут превышать пределы допустимых значений виброскорости $V_{скз} = 4,5$ мм/с. Основной вклад в величину вибрации ВПУ в этом режиме работы вносит полигармоническая амплитуда колебаний 6-й лопастной частоты вращения ($6F_{06}$), размер которой составляет более 95% от общего уровня.

Отличительной особенностью исследованного режима работы ГЦН-1 является снижение уровня натриевого столба в баках ГЦН-1 до 400–600 мм вследствие изменения разности давления всасывания (вакуума) и нагнетания (подпора) натрия, подаваемого в гидростатический подшипник. Такое изменение перепада давления связано с перераспределением гидравлических потоков теплоносителя.

Снижение уровня натрия в баках ГЦН-1, вызывая уменьшение демпфирующих сил упругости, устойчивых форм равновесия и частоты настройки гидроупругой системы с входящим в нее валопроводом насоса, является коренной причиной повышенной вибрации ГЦН-1 в диапазоне частот вращения 700–780 об/мин в двухпетлевом режиме работы.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 10816-3-99. «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерения вибрации на невращающихся частях. Часть 3».
2. Ширман А.Р., Соловьев А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. – М., 1996.
3. Вибрации в технике: Справочник. Том 6.: Защита от вибрации и ударов/Под ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1981.
4. Дрозденко В.А., Козырев В.Д., Шейнкман А.Г. Разработка и внедрение подсистемы диагностики главных циркуляционных насосов энергоблока БН-600/Всесоюзное научно-техническое совещание «Техническая диагностика и эксплуатационный контроль на АЭС: состояние и перспективы развития»: Тезисы докладов (Калининская АЭС, 1990). – М: ВНИИАЭС, 1990.
5. Шейнкман А.Г., Козырев В.Д., Дрозденко В.А., Соркин Д.М. Развитие систем диагностики процессов и оборудования энергоблока с реактором БН-600. – Екатеринбург: УрО РАН, 1994.

Поступила в редакцию 30.03.2009

УДК 621.039

Implementation of the Decommissioning Programmes of Beloyarsk NPP Power Units 1 and 2/N.N. Oshkanov, V.F. Roslyakov, B.I. Chubarov, V.A. Makhov, E.A. Vinivitin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 5 illustrations. – References, 9 titles.

The article overviews the generalized list of the work presently in hand under the programmes of the decommissioning of Beloyarsk NPP power units 1 and 2.

УДК 621.039:519.7

Development of the optimal algorithms of the NPP decommissioning using the methods of mathematical simulation/O.L. Tashlykov, A.N. Seseikin, S.E. Shcheklein, A.G. Chechentsov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 6 pages, 2 tables, 1 illustration. – References, 8 titles.

The required scope of the source information on the radiation background in the power unit premises for the development of the systems of the optimal NPP decommissioning planning is determined.

The ways are proposed to increase the efficiency of utilization of the obtained information on the radiation background for optimization of the sequence of the dismantling of the radioactive equipment by means of the mathematical simulation in order to minimize exposure and material costs.

УДК 621.039.526

Research into the Temperature Behaviour of the Irradiated Fuel Sub-Assemblies of the First Phase of the Beloyarsk NPP under the conditions of the «Dry» Storage/S.V. Bogatov, V.P. Zabegaev, A.I. Karpenko, E.L. Rozenbaum; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 6 pages, 4 illustrations. – References, 4 titles.

The article presents the computational and the experimental investigations of the temperature behaviour of the standard cask holding thirty five irradiated fuel sub-assemblies under the dry storage in the process pit. Research showed that the heat-up due to the residual heat did not cause the excessive growth of temperature even under the conditions of the complete absence of the heat removal by ventilation.

УДК 621.039.548

Methodology and Results of the Operational Calculation of the Temperature of the Fuel in the Fuel Pins of the BN-600 Reactor Fuel Sub-Assemblies/S.V. Bogatov, M.G. Kireev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 2 tables, 6 illustrations. – References, 9 titles.

The article presents the methodology of the determination of the peak fuel temperature and computational investigations of the temperature behaviour of the fuel in the fuel pins of the fuel sub-assemblies of various types during the BN600 reactor operation. The effect of the sodium uranate in the gap between fuel and cladding of the fuel pin on the heat transfer processes is considered.

УДК 621.311.25:621.039

Features of the Vibration Conditions of the Pumping Units of the Primary Sodium Pumps of the BN-600 Power Unit under the conditions of Two-Loop Operation/E.Yu. Badanin, P.P. Govorov, V.A. Drozdenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 4 pages, 2 illustrations. – References, 5 titles.

The article presents the results of the investigation of the vibration conditions of the pumping components of the primary sodium pumps under the two-loop operation of the power unit. The comparative analysis has been conducted, and the distinctive features of the conditions of the pumping component operation under these circumstances have been found.