

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ
OPERATION OF FACILITIES
NUCLEAR INDUSTRY

УДК 621.311.25:621.039.5

<https://doi.org/10.26583/gns-2024-03-05>

EDN NICFCO

Оригинальная статья / Original paper



**Модернизация насоса гидropодъема роторов
паротурбинной установки К-1200-6,8/50**

В.П. Поваров  , **Д.Е. Усачев, А.П. Щукин, В.А. Воротников, А.А. Лотарев**

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»

(Нововоронежская АЭС), г. Нововоронеж, Воронежская область, Российская Федерация

 nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Аннотация. В недавнем прошлом в отечественной промышленности широко применялось оборудование иностранных производителей. При этом в настоящее время под давлением введённых против России санкций и системных ограничений техническая поддержка эксплуатации подобного сложного оборудования существенно затруднена, или отсутствует. Коллектив Нововоронежской АЭС успешно противостоит подобным вызовам, разрабатывая технические решения, позволяющие продолжать эффективную эксплуатацию импортного оборудования в условиях новой реальности. Один из многочисленных примеров усилий коллектива Нововоронежской АЭС, направленных на обеспечение экономической безопасности и технологического суверенитета России, приведён в данной статье. В процессе эксплуатации энергоблоков с реакторами ВВЭР-1200 были выявлены отказы в работе насосов гидropодъема роторов турбоагрегата фирмы «Allweiler GmbH» (Германия). В рамках программы импортозамещения и повышения надежности оборудования на основе имеющейся документации и сравнительного анализа режимов эксплуатации насосов НГПР на Нововоронежской и Ленинградской АЭС, разработана технология ремонта НГПР с модернизацией внутрикорпусных деталей с помощью установки втулки из бронзы и соблюдения точных зазоров внутрикорпусных устройств насоса. Предложены усовершенствованные схемные решения для системы гидростатического подъема роторов ТА, исключающие повреждения НГПР при работе энергоблока на мощности и в период планово-предупредительного ремонта (ППР). Модернизация оборудования, произведённого в Германии, а также его успешная эксплуатация на Нововоронежской АЭС, является ярким примером научно обоснованного технического ответа на санкционное давление иностранных государств и может распространяться на другие российские предприятия в качестве положительной практики.

Ключевые слова: турбина, ВВЭР, насос гидropодъема роторов, маслосистема, система смазки.

Для цитирования: Поваров В.П., Усачев Д.Е., Щукин А.П., Воротников В.А., Лотарев А.А. Модернизация насоса гидropодъема роторов паротурбинной установки К-1200-6,8/50. *Глобальная ядерная безопасность*. 2024;14(3):56–61. <https://doi.org/10.26583/gns-2024-03-05>

For citation: Povarov V.P., Usachev D.E., Shchukin A.P., Vorotnikov V.A., Lotarev A.A. Modernisation of rotor hydraulic lift pump of steam turbine unit K-1200-6.8/50. *Global nuclear security*. 2024;14(3):56–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.26583/gns-2024-03-05>

Modernisation of rotor hydraulic lift pump of steam turbine unit K-1200-6.8/50

Vladimir P. Povarov  , Dmitry E. Usachev, Alexey P. Shchukin,
Vitaly A. Vorotnikov, Alexander A. Lotarev

Branch of JSC Concern Rosenergoatom Novovoronezh Nuclear Power Plant (Novovoronezh NPP), Novovoronezh, Voronezh Region, Russian Federation

 nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Abstract. Equipment of foreign manufacturers was widely used in the Russian industry in the recent past. At the same time technical support for the operation of such complex equipment is currently significantly hampered or non-existent under the pressure of sanctions and system restrictions imposed on Russia. The Novovoronezh NPP staff is confronting successfully such challenges by developing technical solutions that enable the continued efficient operation of imported equipment under the new reality. One of the many examples of the efforts of the Novovoronezh NPP staff to ensure Russia's economic safety and technological sovereignty is given in this article. During operation of power units with VVER-1200 reactors, failures in operation of turbine unit rotor hydraulic lift pumps of Allweiler GmbH (Germany) were identified. As part of the programme of import substitution and improvement of equipment reliability on the basis of available documentation and comparative analysis of operation modes of turbine unit rotor hydraulic lift pumps at Novovoronezh and Leningrad NPPs, the technology of turbine unit rotor hydraulic lift pumps repair with modernisation of internals by means of installation of bronze bushing and observance of precise clearances of pump internals is developed. Improved circuit solutions for the system of hydrostatic lifting of rotors are proposed which exclude damage to the turbine unit rotor hydraulic lift pumps during operation of the power unit at capacity and during scheduled preventive maintenance. The modernisation of equipment manufactured in Germany and its successful operation at Novovoronezh NPP is a vivid example of a scientifically sound technical response to the sanctions pressure of foreign countries and can be extended to other Russian enterprises as a positive practice.

Keywords: turbine, VVER, rotor hydraulic lift pump, oil system, lubrication system.

Система гидростатического подъема роторов (СГПР) турбоагрегата (ТА) предназначена для гидростатического подъема шеек роторов турбины и генератора с помощью подачи масла под высоким давлением к вкладышам подшипников для уменьшения износа баббита при вращении валоповоротным устройством (ВПУ) при пуске и остановке ТА, а также для облегчения перемещения ротора ТА во время ремонтных операций¹. В состав системы гидроподъема роторов входят насосы гидроподъема роторов (НГПР), пусковые клапаны, предохранительные клапаны, дозирующие устройства, трубопроводы и арматура.

На энергоблоках с ВВЭР-1200 (Нововоронежская, Ленинградская, Белорусская

АЭС), а также на 4-м блоке Белоярской АЭС в соответствии с проектом в качестве насосов гидроподъема роторов используются насосы VHF440R40E7BS-W159L фирмы «Allweiler GmbH» (Германия). Для подачи масла на каждом энергоблоке установлены два винтовых насоса с электродвигателями переменного тока. В период пусковых операций один насос находится в работе, другой – в дежурстве. Схема с двумя насосами обеспечивает максимально безопасную эксплуатацию ТА. Масло из чистого отсека главного маслобака (ГМБ) подается одним рабочим насосом в напорный коллектор системы гидростатического подъема роторов и далее через дозирующие устройства под шейки роторов каждого подшипника.

На напорном маслопроводе каждого НГПР установлены пусковой, предохранительный и обратный клапаны. Пусковой клапан предназначен для облегчения режима пуска насоса и закрывается в течение нескольких секунд по мере роста давления

¹ Поваров В.П., Безручко О.Л., Гусев И.Н., Усачев Д.Е. Паротурбинная установка К-1200-6,8/50 : учебное пособие. – Росатом. – Воронеж: Диамат, 2021. – 499 с.

масла в напорном коллекторе насоса. Предохранительный клапан не допускает увеличения давления масла на напоре насоса сверх допустимого. Срабатывание предохранительного клапана (уставка) настроено на давление 132 кгс/см^2 .

Технологическая схема системы гидроподъема роторов (MVL) приведена на рисунке 1, где MAV – система смазки подшипников MAD.

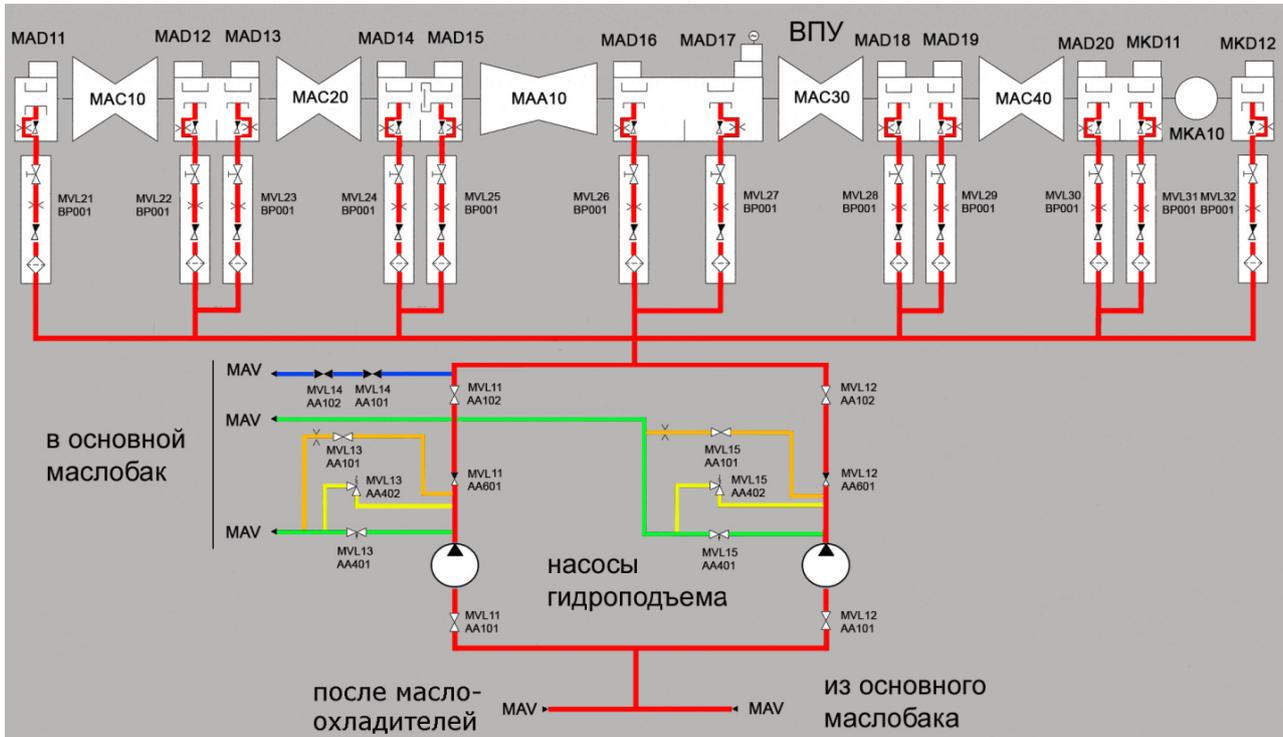


Рисунок 1. Технологическая схема системы гидроподъема роторов
Figure 1. The scheme of the rotor hydraulic lifting system.

Равномерное распределение расхода масла по вкладышам осуществляется дозирующими устройствами. Дозирующие устройства выполнены отдельными блоками и состоят из неотключаемого фильтра, ограничительной (дрессельной) шайбы, шарового обратного клапана и ручного устройства золотникового типа, позволяющего при необходимости отсекать подачу масла на подшипник.

В нижних половинах вкладышей каждого из подшипников выполнена система гидроподъемных камер, обеспечивающих всплытие шейки вала. Масло из вкладышей подшипников ТА сливается в картеры подшипников, откуда по сливным трубопроводам сливается в ГМБ.

Система вводится в работу перед постановкой роторов ТА на ВПУ. Отключение насосов гидроподъема разрешается после закрытия стопорных и регулирующих кла-

панов турбины, снижения температуры металла паровпускных каналов турбины ниже 150°C и отключения ВПУ¹.

Технические характеристики НГПР:

- тип насоса – трехвинтовой насос фланцевого исполнения;
- перекачиваемая среда – огнестойкая жидкость «FYRQUEL»;
- температура перекачиваемой среды – $45 \div 65^\circ\text{C}$;
- давление на выходе – $110\text{--}120 \text{ кгс/см}^2$;
- частота вращения – 2900 об/мин ;
- производительность – $625,8\text{--}649 \text{ л/мин}$.

Корпус НГПР выполнен из стали ZSV. Материал рабочих валов, приводного вала и выравнивающей втулки – из стали 16MnCrS5, 16MnCrS5, G-CuPb15Sn соответственно.

На рисунке 2 приведена конструкция НГПР.

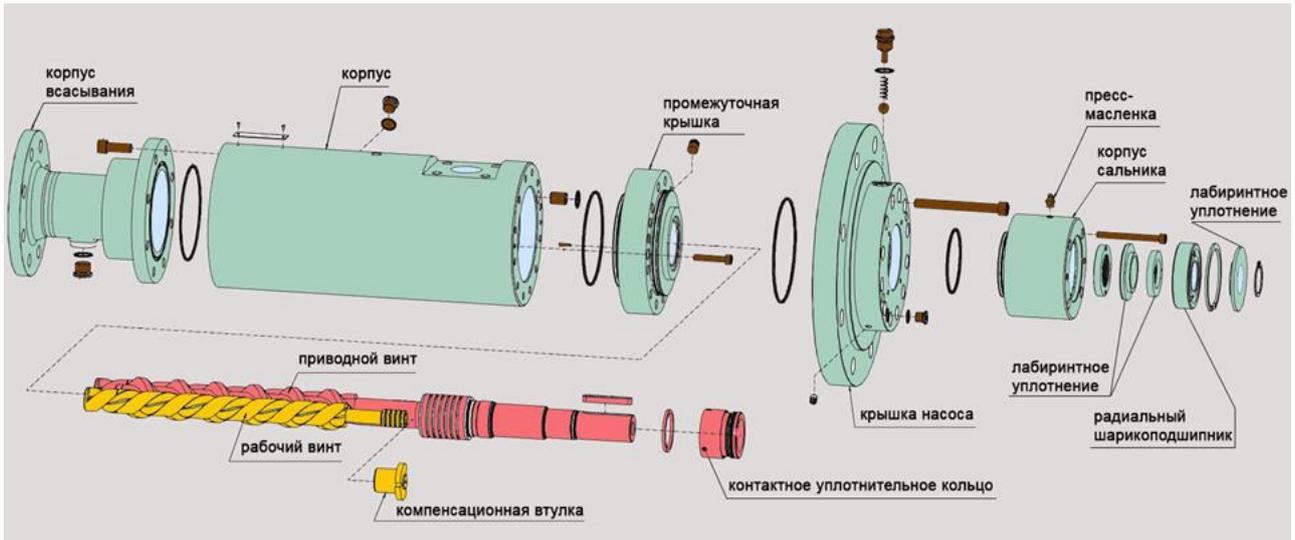


Рисунок 2. Конструкция насоса гидроподъема ротора
Figure 2. Design of the rotor hydraulic lift pump

В процессе эксплуатации на Белоярской и Нововоронежской АЭС (НВАЭС) в период 2016-2023 гг. были выявлены повреждения НГПР. Насос не развивал необходимого давления ($>100 \text{ кгс/см}^2$) для всплытия роторов ТА.

При разборке насосов выявлено отслоение внутреннего антифрикционного покрытия корпуса и увеличение зазоров между рабочим, приводными винтами и внутренней поверхностью корпуса. Состав антифрикционного покрытия, который предназначен для обеспечения зазоров, снижения трения и механического изнашивания при воздействии химически активного реагента «FYRQUEL» на сопрягаемые детали, неизвестен.

Требования заводских инструкций АО «Силовые машины» и производителя насоса к эксплуатации НГПР:

- температура масла при включении насосов гидроподъема должна быть не менее $38 \text{ }^\circ\text{C}$ (п. 4.1.12);

- работа НГПР разрешается при давлении масла во всасывающем коллекторе более $0,1 \text{ кгс/см}^2$. В то же время, в техническом паспорте на насосный агрегат системы гидроподъема роторов указывается, что давление на входе насоса равняется 0 кгс/см^2 , согласно NW20.W.201.&0UMA &&MVL12.021.ZG.0001 «Технический паспорт на электронасосный агрегат гидроподъема турбины».

– в проекте технических условий на турбину паровую К-1200-6,8/50 указано, что насосы гидроподъема должны работать от масляного бака без включения в работу масляного насоса системы смазки (МНС) (п.1.5.3.8). Масло из чистого отсека ГМБ подается НГПР в напорный коллектор системы гидроподъема роторов.

Выполнен сравнительный анализ режимов эксплуатации насосов НГПР на Нововоронежской и Ленинградской АЭС.

При работе блока на мощности всасывающая магистраль НГПР на блоках № 5 и № 6 ЛенАЭС организована с напорной линии системы смазки турбины, а на блоках № 6 и № 7 НВАЭС – с чистого отсека ГМБ. На блоках НВАЭС масло с напорной линии системы смазки турбины подается на всас НГПР только при плановом опробовании насоса.

При планово-предупредительном ремонте на ЛенАЭС и НВАЭС всас НГПР собран с чистого отсека ГМБ системы смазки турбины.

Проанализировав отказы в работе НГПР, предположили, что наиболее вероятная причина повреждения насосов связана с недостаточным подпором на всасе насоса.

При расследовании нарушения в работе АС (Отчет о № 2НВО2-П07-01-01-24 от 25.01.2024) разработчик проекта турбоустановки АО «Силовые машины» предложил обеспечить постоянный подпор

НГПР с напорной линии системы смазки, при этом в руководства по эксплуатации турбоустановки и системы смазки необходимые изменения не внесены.

Это потребовало корректировки эксплуатационной документации (руководств по эксплуатации турбины и системы маслоснабжения). Для работы НГПР с подпором от напорной линии системы смазки в период ППР устанавливаются перемычки на подшипниках турбоустановки для обеспечения возможности включения насосов системы смазки при разобранных подшипниках.

Специалистами НВАЭС разработан комплект технологических документов (КТД) на ремонт корпуса насоса, а также комплект чертежей на изготовление ремонтных приспособлений.

Ремонт с модернизацией внутрикорпусных устройств НГПР выполнен в соответствии с разработанным КТД. Выполнена расточка корпуса насоса, изготовлены заготовки из бронзы и их запрессовка в корпус насоса. Выполнено сверление и расточка отверстий по заданным диаметрам в соответствии с КТД.

На рисунке 3 приведена фотография корпуса НГПР с запрессованной втулкой из бронзы. Зазоры между приводными и рабочим винтами насоса соответствуют техническим условиям на насосный агрегат системы гидроподъема роторов типа VHF440 R40E7BS-W159-L.



Рисунок 3. Корпус НГПР с запрессованной втулкой из бронзы

Figure 3. The housing of the rotor hydraulic lift pump with pressed bronze sleeve

В процессе пуско-наладочных работ при включении насоса для опробования после сборки было выявлено задевание приводных винтов за корпус. Для устранения данной проблемы приняты меры по расточке отверстий приводных винтов корпуса на 0,1 мм. После повторных испытаний насоса выявлены повышенные зазоры между разгрузочной втулкой и корпусом. Конструкция втулки узла разгрузки насоса была доработана и изготовлена заново. Работа насоса с модернизированными в условиях Нововоронежской АЭС внутрикорпусными деталями в составе системы гидроподъема роторов не выявила замечаний. При опробовании зафиксировано давление в напорной линии НГПР на уровне 110 кгс/см^2 , что является достаточным для обеспечения безопасной и надежной работы ТА и энергоблока в целом. Надежная работа модернизированного НГПР обеспечила возможность проведения ремонтных и пусковых работ в период ППР-2024 года на оборудовании турбоустановки энергоблока № 2 Нововоронежской АЭС-2.

Выводы:

1. Практически реализована технология ремонта с модернизацией внутрикорпусных деталей НГПР производства «Allweiler GmbH» (Германия) с помощью установки внутрикорпусной втулки из бронзы, выдержана максимальная точность зазоров, соответствующих ТУ, между приводными и рабочим винтами насоса.

2. Работа выполнена в рамках программы импортозамещения и повышения надежности нового оборудования.

3. Предложены схемные решения для модернизации системы гидростатического подъема роторов ТА, которые исключают повреждения НГПР при работе блока на мощности и в период ППР. Всасывающий трубопровод НГПР организован с напорной линии системы смазки турбины.

4. НГПР функционирует без замечаний в составе энергоблока № 2 Нововоронежской АЭС-2.

ВКЛАД АВТОРОВ:

Поваров В.П. – концепция технического решения;
Усачев Д.Е. – опробование решения;
Щукин А.П. – разработка схемных решений;
Воротников В.А. – организация ремонта;
Лотарев А.А. – работа с документацией.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ:

Финансирование за счет средств Нововоронежской АЭС.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Владимир Петрович Поваров, доктор технических наук, директор Филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция» (Нововоронежская АЭС), г. Нововоронеж, Воронежская обл., Российская Федерация.

<https://orcid.org/0000-0001-9092-9160>

e-mail: nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Дмитрий Евгеньевич Усачев, начальник турбинного цеха 4-й очереди Нововоронежской АЭС, г. Нововоронеж, Воронежская обл., Российская Федерация.

e-mail: nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Алексей Павлович Щукин, руководитель Опытного-демонстрационного инженерного центра по выводу из эксплуатации (ОДИЦ), филиал концерна «Росэнергоатом», г. Нововоронеж, Воронежская обл., Российская Федерация.

e-mail: nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Виталий Алексеевич Воротников, начальник цеха централизованного ремонта Нововоронежской АЭС, г. Нововоронеж, Воронежская обл., Российская Федерация.

e-mail: nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Александр Алексеевич Лотарев, ведущий инженер цеха централизованного ремонта Нововоронежской АЭС.

e-mail: nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Поступила в редакцию 24.05.2024

После доработки 23.08.2024

Принята к публикации 27.08.2024

AUTHORS' CONTRIBUTION:

V.P. Povarov – the concept of a technical solution;
D.E. Usachev – testing and approbation;
A.P. Shukin – scheme development;
V.A. Vorotnikov – repair of the pump;
A.A. Lotarev – documentation.

FUNDING:

Financing from Novovoronezh NPP funds.

CONFLICT OF INTEREST:

No conflict of interest.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Vladimir P. Povarov, Vladimir P. Povarov, Dr. Sci. (Engin.), Head of Novovoronezh Nuclear Plant the Branch of Rosenergoatom Concern JSC (Novovoronezh NPP), Novovoronezh, Voronezh region, Russian Federation.

<https://orcid.org/0000-0001-9092-9160>

e-mail: nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Dmitry E. Usachev, Head of the 4th stage turbine shop, Novovoronezh NPP, Novovoronezh, Voronezh region, Russian Federation.

e-mail: nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Alexey P. Shchukin, Head of the Experimental and Demonstration Engineering Centre of Decommissioning, the branch of Rosenergoatom Concern, Novovoronezh, Voronezh region, Russian Federation.

e-mail: nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Vitaly A. Vorotnikov, Head of the Centralised Repair Shop, Novovoronezh NPP, Novovoronezh, Voronezh region, Russian Federation.

e-mail: nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Alexander A. Lotarev, leading engineer, Centralised Repair Shop, Novovoronezh NPP, Novovoronezh, Voronezh region, Russian Federation.

e-mail: nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Received 24.05.2024

Revision 23.08.2024

Accepted 27.08.2024