

УДК 621.039

**А.В. Безносков, А.В. Львов, Н.С. Волков, Н.С. Лукичев, К.В. Менская,
П.А. Боков, Т.А. Бокова, Э.Г. Новинский, А.Р. Маров**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК ОСЕВЫХ НАСОСОВ, ПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СВИНЦОВЫЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ, ОТ ГЕОМЕТРИИ ВЫХОДНОГО УЧАСТКА ЛОПАТОК РЕШЕТОК ПРОФИЛЕЙ РАБОЧЕГО КОЛЕСА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты экспериментальных зависимостей характеристик осевого колеса (подачи, напора, КПД) в свинцовом теплоносителе от угла отклонения $1/3$ длины выходного участка плоских лопаток рабочего колеса. Исследования проводились применительно к условиям работы главных циркуляционных насосов установок малой и средней мощности с реакторами на быстрых нейтронах, охлаждаемых свинцовым теплоносителем с горизонтальными парогенераторами (БРС ГПГ). Целью данного этапа работ являлось определение оптимальной геометрии выходного участка лопаток решетки профилей рабочего колеса осевого насоса в натуральных условиях. Полученные результаты рекомендуются использовать при проектировании насосов, перекачивающих тяжелые жидкометаллические теплоносители.

Ключевые слова: тяжелый жидкометаллический теплоноситель, реактор на быстрых нейтронах, осевой насос, свинцовый теплоноситель, рабочее колесо, лопатка.

Введение

В настоящее время отсутствует опыт создания и эксплуатации осевых насосов для проектируемых реакторных установок со свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителями. Свойства этих тяжелых жидкометаллических теплоносителей (ТЖМТ) (плотность, кавитационные характеристики, эксплуатационные примеси в теплоносителе и др.), условия контактного взаимодействия ТЖМТ с поверхностями конструкционных материалов с покрытиями, несмачиваемыми ТЖМТ, другие факторы, влияющие на процессы в проточной части насосов, существенно отличаются от аналогичных характеристик традиционных теплоносителей (вода, натрий). Целесообразно проведение экспериментов, позволяющих обоснованно выполнять проектирование главных циркуляционных насосов реакторных контуров с ТЖМТ. Данная работа отражает результаты продолжающихся в НГТУ экспериментальных исследований, направленных на разработку рекомендаций по оптимальной конструкции осевых насосов, перекачивающих ТЖМТ [1, 2].

Цель данного этапа исследований – определение и поиск оптимальных характеристик осевых насосов (подача, напор, КПД), перекачивающих тяжелый жидкометаллический теплоноситель в зависимости от геометрии выходного участка лопаток решетки профилей рабочего колеса.

Методика экспериментов

Исследования проводились на стенде НГТУ при температуре перекачиваемого свинцового теплоносителя 440-500 °С. Скорость вращения вала насоса изменялась ступенями по 100 об/мин от 600 об/мин до 1100 об/мин. Максимальный расход свинцового теплоносителя в процессе испытаний составлял около 1800 т/час. Диаметр рабочего колеса $\varnothing 212$ мм. Диаметр втулки $\varnothing 92$ мм, втулочное отношение 0,44. Исходное состояние лопаток – плоское, толщина 6 мм. Число сменяемых лопаток на рабочем колесе – 4 шт. Все элементы конструк-

ции проточной части насоса, контактирующие с ТЖМТ, изготавливались из стали 08Х18Н10Т и имели сформированные оксидные защитные покрытия. Углы установки лопаток на рабочем колесе варьировались последовательной заменой рабочих колес с углами: 16, 20, 24, 28°. Углы отгиба 1/3 выходного участка лопаток составляли: -8° , -4° , 0 , $+4^\circ$, $+8^\circ$ относительно оси прямой плоской лопатки (рис. 1).

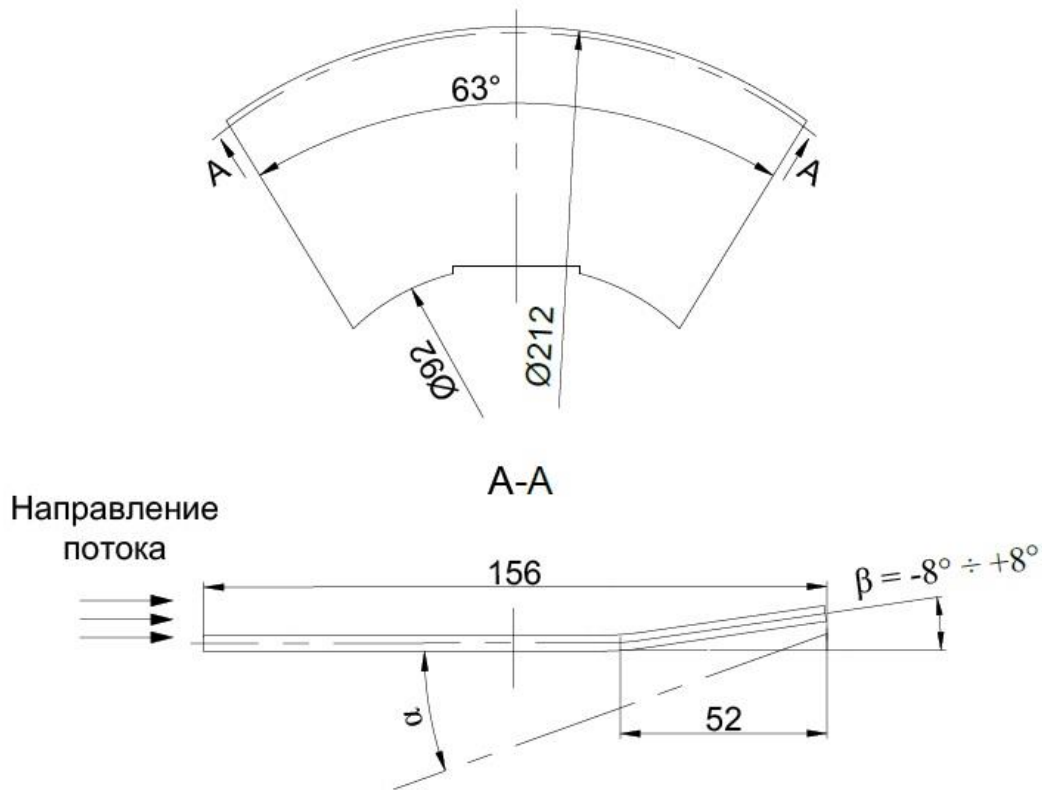


Рис. 1. Схема установки лопатки

Обсуждение результатов

Испытания показали следующие зависимости характеристик насоса (подачи, напора, КПД) от угла отгиба (изгиба) лопаток рабочих колес:

- при угле установки лопаток 16° , при $n = 1100$ об/мин подача и напор насоса несколько увеличивается при углах отгиба лопаток $\beta = -8^\circ \div -4^\circ$ ($G = 125$ т/час $\rightarrow 155$ т/час, $H = 0,63$ м $\rightarrow 0,82$ м), при дальнейшем увеличении этого угла остаются постоянными $G \approx 150$ т/час и $H \approx 0,79$ м (рис. 2);

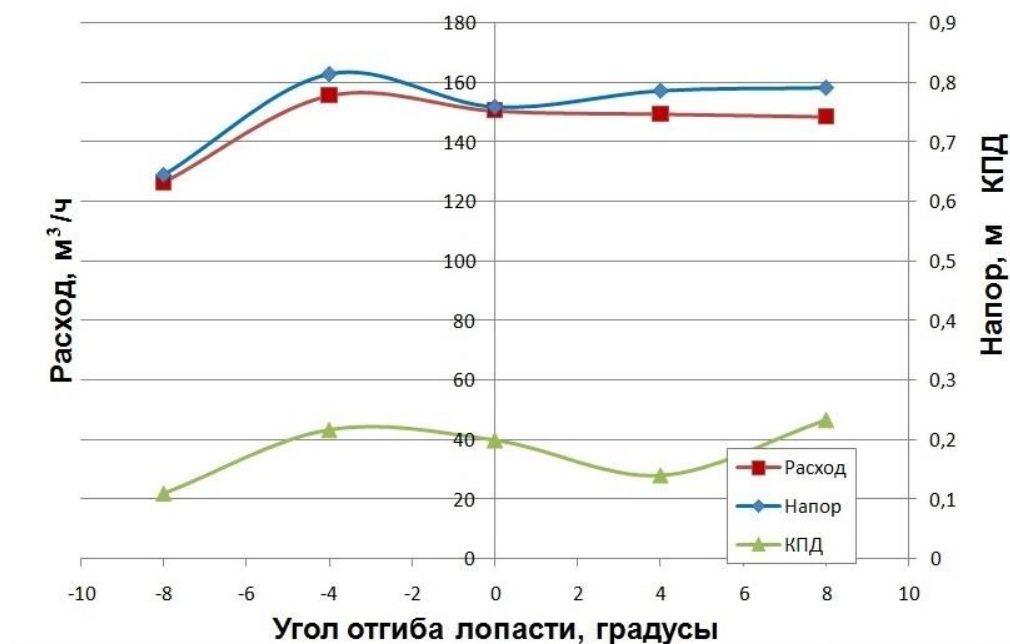


Рис. 2. Зависимость характеристик насоса от угла отгиба лопаток при угле установки лопаток 16° и $n = 1100$ об/мин

- при угле установки лопаток 20° , при $n = 1100$ об/мин подача и напор насоса несколько увеличивается при углах отгиба лопаток $\beta = -8^\circ \div 0^\circ$ ($G = 130$ т/час $\rightarrow 140$ т/час, $H = 0,69$ м $\rightarrow 0,71$ м), при дальнейшем увеличении этого угла резко возрастают ($G = 140$ т/час $\rightarrow 185$ т/час, $H = 0,71$ м $\rightarrow 1,05$ м), причем напор продолжает монотонно возрастать при $\beta > 8^\circ$ (рис. 3);

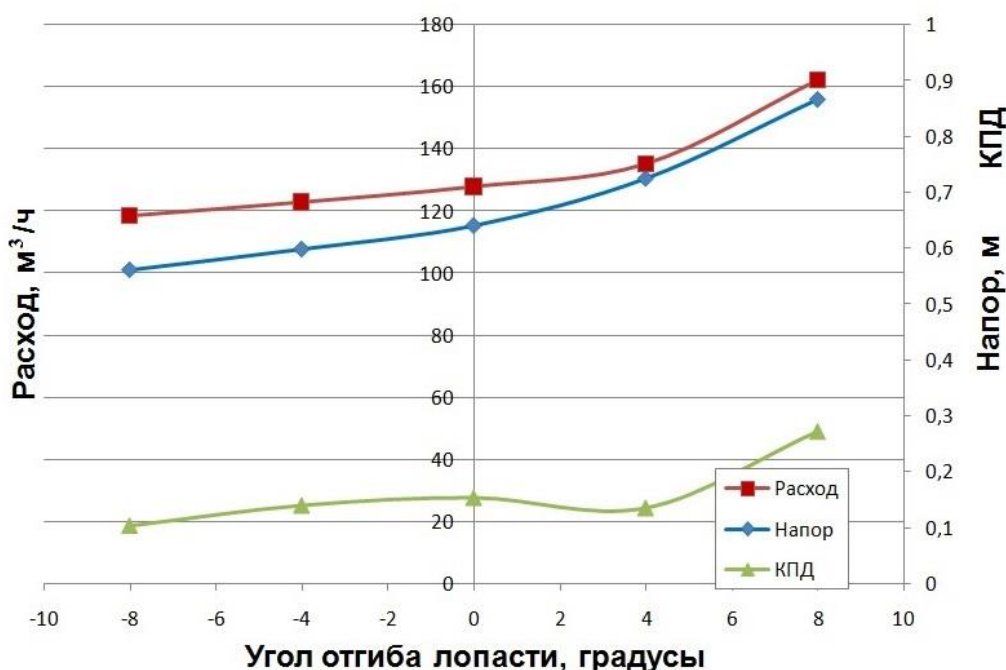


Рис. 3. Зависимость характеристик насоса от угла отгиба лопаток при угле установки лопаток 20° и $n = 1000$ об/мин

- при угле установки лопаток 24° , при $n = 1100$ об/мин подача и напор насоса несколько увеличивается. При углах отгиба лопаток $\beta = -8^\circ \div +4^\circ$ ($G = 121$ т/час $\rightarrow 140$ т/час,

$H = 0,65 \text{ м} \rightarrow 0,71 \text{ м}$), при дальнейшем увеличении этого угла до $+8^\circ$ ($G = 140 \text{ т/час} \rightarrow 175 \text{ т/час}$, $H = 0,7 \text{ м} \rightarrow 1,01 \text{ м}$), и продолжает монотонно возрастать с увеличением угла отгиба лопаток (рис. 4, рис. 4а);

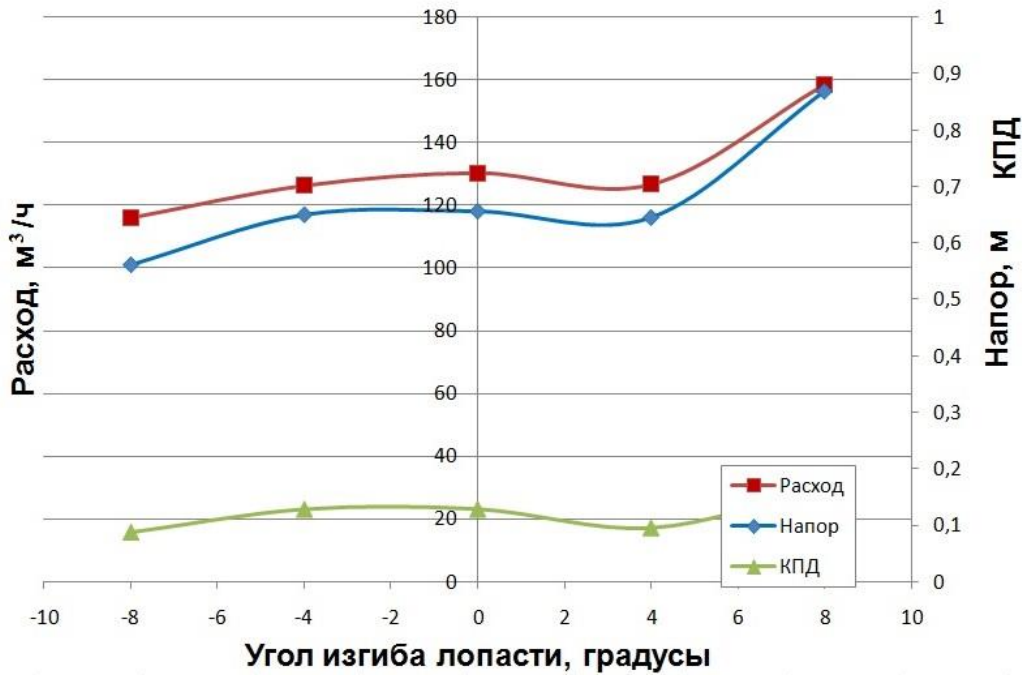


Рис. 4. Зависимость характеристик насоса от угла отгиба лопаток при угле установки лопаток 24° и $n = 1000 \text{ об/мин}$

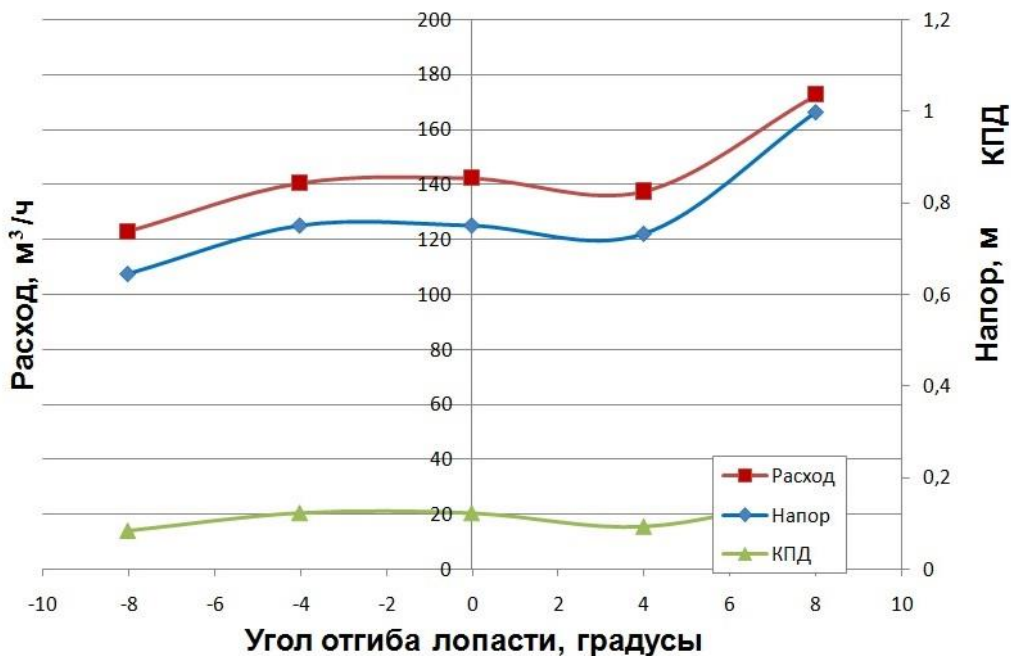


Рис. 4а. Зависимость характеристик насоса от угла отгиба лопаток при угле установки лопаток 24° и $n = 1100 \text{ об/мин}$

- при угле установки лопаток 28° , при $n = 1000 \text{ об/мин}$ подача и напор насоса несколько увеличивается при углах отгиба лопаток $\beta = -8^\circ \div 0^\circ$ ($G = 110 \text{ т/час} \rightarrow 128 \text{ т/час}$, $H = 0,55 \text{ м} \rightarrow 0,67 \text{ м}$), при дальнейшем увеличении угла отгиба, начиная с $+4^\circ$, монотонно возрастает до $G = 145 \text{ т/час}$, $H = 0,78 \text{ м}$, и продолжает монотонно возрастать с увели-

чением угла отгиба лопаток. При скоростях вращения вала 800 об/мин, 900 об/мин, 1000 об/мин и 1100 об/мин ход кривых подачи, напора и КПД, соответствующие значения G и H при увеличении скорости вращения вала вырастают (рис. 5).

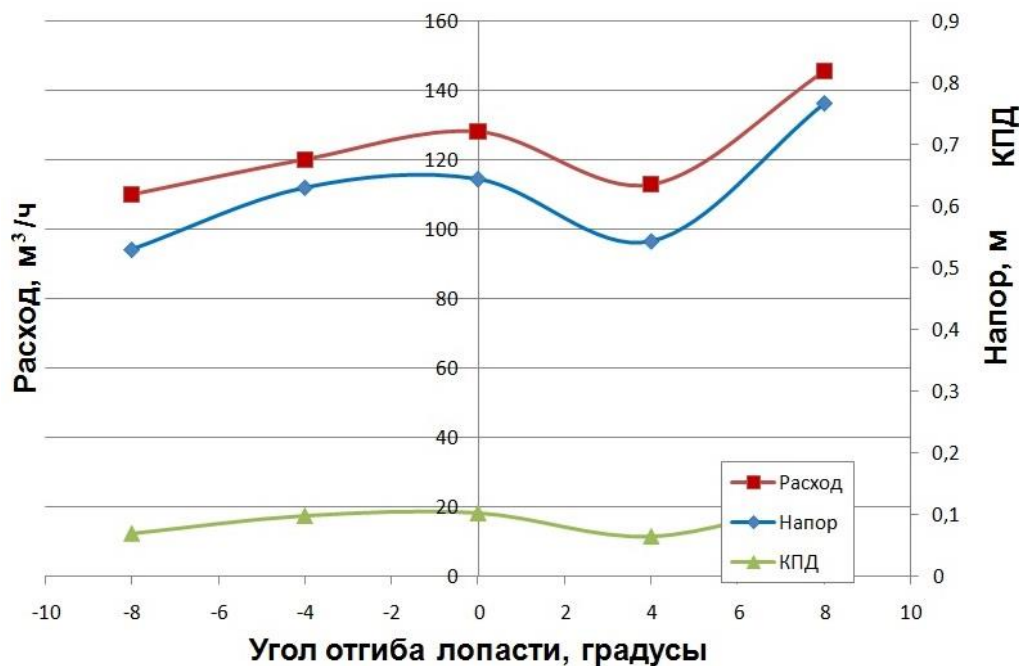


Рис. 5. Зависимость характеристик насоса от угла отгиба лопаток при угле установки лопаток 28° и $n = 1000$ об/мин

Из рис. 6 видно, что наибольшее значение подачи, напора и КПД при прочих равных условиях имеют лопатки, установленные под углом 20° и 24° при углах отгиба лопаток $+4^\circ$ и $+8^\circ$.

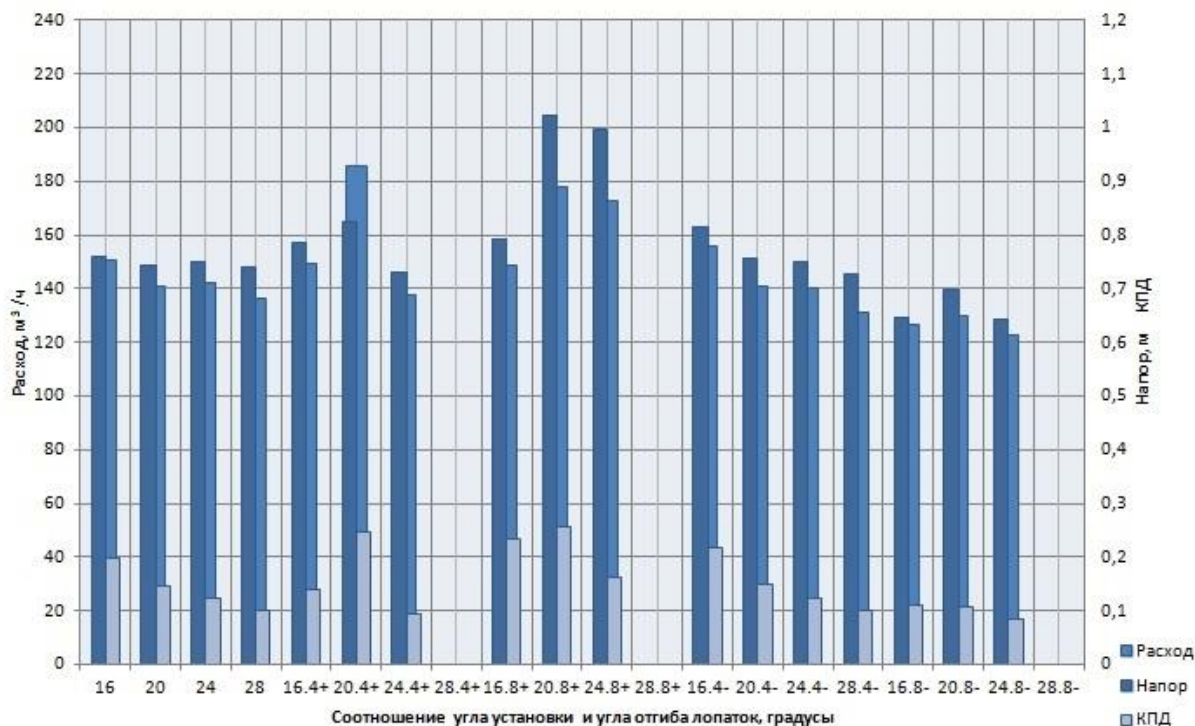


Рис. 6. Соотношение угла установки и угла отгиба лопаток, градусы

Заключение

Результаты экспериментальных исследований зависимостей характеристик осевых насосов, перекачивающих свинцовый теплоноситель, от угла установки четырех лопаток в решетке профилей рабочего колеса при углах отгиба одной трети выходного участка плоских лопаток -8° , -4° , 0° , $+4^\circ$, $+8^\circ$ рекомендуется использовать при проектировании насосов, перекачивающих ТЖМТ.

Библиографический список

1. **Безносков, А.В.** Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике / А.В. Безносков, Ю.Г. Драгунов, В.И. Рачков. – М.: ИздАт, 2007. – 434 с.
2. **Безносков, А.В.** Оборудование энергетических контуров с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями в атомной энергетике / А.В. Безносков, Т.А. Бокова. – Н. Новгород, 2012. – 536 с.
3. **Безносков, А.В.** Технологии и основное оборудование контуров реакторных установок, промышленных и исследовательских стендов со свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителями / А.В. Безносков, П.А. Боков, Т.А. Бокова. – Н. Новгород: Литера, 2016. – 488 с.
4. **Безносков, А.В.** Экспериментальные исследования и обработка характеристик насосов на свинцовом теплоносителе / А.В. Безносков, А.В. Львов, П.А. Боков, Т.А. Бокова, Д.В. Шихов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2005. – № 4. – С. 123-132.
5. **Безносков, А.В.** Экспериментальные исследования зависимостей характеристик осевых насосов перекачивающих свинцовый теплоноситель от параметров решеток профилей рабочих колес / А.В. Безносков, А.В. Львов, П.А. Боков, Т.А. Бокова, В.А. Разин // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2017. – № 1. – С. 138-144.
6. **Пфлейдерер, К.** Лопаточные машины для жидкости и газа / К. Пфлейдерер. – М.: Машгиз, 1960. – 685 с.
7. **Ломакин, А.А.** Центробежные и осевые насосы / А.А. Ломакин. – Л.: Машиностроение, 1966. – 366 с.
8. **Папир, А.Н.** Водометные движители малых судов / А.Н. Папир. – Л.: Судостроение, 1970. – 256 с.
9. **Безносков, А.В.** Экспериментальные исследования и обработка характеристик насосов на свинцовом теплоносителе / А.В. Безносков, А.В. Львов, Н.С. Волков, Н.С. Лукичев, П.А. Боков, Т.А. Бокова, Э.Г. Новинский, А.Р. Маров // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2018. – № 4. – С. 78-84.

*Дата поступления
в редакцию: 22.01.2019*

A.V. Beznosov, A.V. Lvov, N.S. Volkov, N.S. Lukichev, K.V. Menskaya,
P.A. Bokov, T.A. Bokova, E.G. Novinsky, A.R. Marov

**EXPERIMENTAL STUDIES OF THE DEPENDENCIES OF THE CHARACTERISTICS
OF AXIAL PUMPS, PUMPING LEAD COOLANT, ON THE GEOMETRY
OF THE OUTPUT SECTION OF THE BLADES
OF THE IMPELLER PROFILES GRATINGS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

Purpose: The studies were carried out in the NNTU of determination of the optimal geometry of the output section of the blades of the grating of the profiles of the impeller of an axial pump in natural conditions.

Design/methodology/approach: The experiment was carried out at the FT-4 NNTU booth at a temperature of lead coolant 440 – 500 °C. The speed of rotation of the pump shaft was changed in steps of 100 rpm from 600 rpm to 1000 (1100) rpm. The maximum consumption of lead coolant in the process of testing was about 1,800 t/h. The angles of installation of the blades on the impeller ranged from 16 to 28 °. The angles of the limb of one-third of the output section of the blade ranged from -8° to +8° relative to the axis of the straight flat blade.

Findings: The obtained results of the experiment are recommended to be used in the design of pumps pumping heavy liquid metal coolants.

Research limitations/implications: The results of experimental studies of the dependences of the characteristics of axial pumps pumping lead coolant on the angle of installation of four blades in the rotor profiles grating at angles of one third of the output section of flat blades -8°, -4°, 0°, +4°, +8° are recommended used in the design of pumps pumping lead.

Originality/value: The results of experimental studies of the dependences of the characteristics of axial pumps pumping lead coolant on the angle of installation of four blades in the impeller profile grille at angles of one third of the output section of flat blades -8 °, -4 °, 0 °, + 4 °, + 8 ° are recommended use in the design of pumps pumping HLMC.

Key words: heavy liquid metal coolants, fast neutron reactor, axial pump, lead coolant, impeller, blade.