

УДК 621.671.001.024

**Д.Г. СВОБОДА**, асс. кафедры «Турбины, гидромашины и авиационные двигатели» СПбГПУ, Санкт-Петербург;

**А.А. ЖАРКОВСКИЙ**, д-р техн. наук; проф. кафедры «Турбины, гидромашины и авиационные двигатели» СПбГПУ, Санкт-Петербург

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСЕВОГО НАСОСА С БЫСТРОХОДНОСТЬЮ $n_s = 570$

Представлены результаты экспериментального и расчетного исследования осевого насоса с коэффициентом быстроходности  $n_s = 570$ . Расчетное исследование проводилось с использованием трехмерного метода. Получено хорошее согласование расчетных и экспериментальных интегральных параметров.

**Ключевые слова:** осевой насос, проточная часть, интегральные параметры, методика расчета, энергетические характеристики

В статье приведены результаты расчетного исследования осевого насоса ЦН-44 с коэффициентом быстроходности  $n_s = 570$ , коэффициентом подачи  $K_Q = 0,454$  и коэффициентом напора  $K_H = 0,165$ . Проточная часть данного насоса является моделью натурального осевого насоса ГЦН-1455. Расчетные данные сравнивались с характеристиками, полученными при экспериментальных исследованиях модельного насоса на водяном стенде СПбГПУ. Коэффициент геометрического подобия модельной проточной части  $K_L = D_{РКН}/D_{РКМ} = 0,69/0,272 = 2,5367$ , где РКН – рабочее колесо натуре, РКМ – рабочее колесо модели.

Численное исследование течения проводилось с использованием гидродинамического программного комплекса *ANSYS CFX* в трехмерной постановке. Использовалась следующая методика: создание геометрической модели исследуемой проточной части, построение расчетной сетки, выбор подходящей математической модели, задание граничных условий, параметров расчета, выполнение расчета, визуализация и анализ результатов расчета [1]. На рис. 1 показана, построенная в программе твердотельного 3D-проектирования *SolidWorks*, геометрическая модель насоса, а также его проточная часть, имитирующая объем, внутри которого происходит исследуемое течение жидкости. Расчетная область включает в себя один межлопастной канал рабочего колеса и один канал выправляющего аппарата. Данный подход возможен, так как предполагается, что течение в рабочем колесе (РК) и выправляющем аппарате (ВА) осесимметричное, следовательно в других каналах оно периодически повторяется. Для построения расчетной сетки проточной части использовалась программа *ICEM CFD*. Расчетная сетка – неструктурированная.

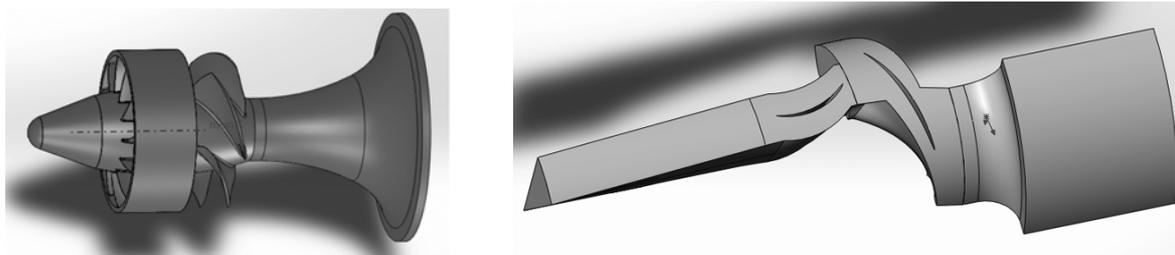


Рис. 1 – Твердотельная модель ОН ЦН-44 и его расчетная проточная область

© Д.Г. Свобода, А.А. Жарковский, 2014

В местах быстрого изменения параметров: входные и выходные кромки лопастей РК и ВА, скругления, поверхности интерфейса производилось сгущение элементов. Также, для описания пограничного слоя вблизи твердых стенок лопасти РК, основного и покрывающего дисков, неподвижных стенок НА и ВА было создано 11 слоев призматических элементов.

В граничных условиях в программном комплексе *ANSYS CFX*, на входе в расчетную область задавалось полное давление 1 атм., а на выходе массовый расход. Расчет течения проводился в стационарной постановке. Режим течения – турбулентный. Для замыкания уравнений Рейнольдса использовалась стандартная  $k-\epsilon$  модель турбулентности. На поверхности интерфейса условие сопряжения *Stage* – осреднение параметров расчета в окружном направлении.

Исследованы вопросы влияния условий проскальзывания и вязкости жидкости на расчетные интегральные параметры осевого насоса. В программном комплексе *ANSYS CFX* при расчете течения жидкости в проточной части лопастных насосов наиболее часто используют граничное условие прилипания. Однако существуют предельный случай, когда справедливо использование граничного условия проскальзывания.

На рис. 2 и рис. 3 показаны графики интегральных параметров РК насоса ЦН-44 полученные при расчете с различными граничными условиями, где условие прилипания жидкости обозначается – «*No Slip Wall*», условие проскальзывания – «*Free Slip Wall*». На оптимальном режиме разница по напору и КПД, рассчитанных с использованием условий проскальзывания и прилипания, составляет ~10 %. С ростом расхода эта разница увеличивается. С уменьшением расхода и скорости обтекания лопаток РК и ВА, разница в расчетных интегральных параметрах для различных граничных условий уменьшается.

В случае, если насос работает на более вязкой жидкости чем вода, то производят пересчет характеристик с воды на рабочую жидкость с использованием эмпирических методик, одна из которых была предложена А.И. Степановым [2]. Методика основывается на многочисленных экспериментах, которые позволяют получить характеристику насоса, перекачивающего вязкую жидкость путем пересчета характеристики на воде с помощью поправочных коэффициентов, полученных опытным путем. При этом пересчет проводят только для оптимального режима при максимальном КПД. Другая методика была предложена П.Д. Ляпковым [3]. Она также основана на экспериментальных данных испытаний насосов на вязкой жидкости. В ней предложены коэффициенты пересчета напора и КПД, зависящие от вязкости, но для разных режимов работы насоса. Таким образом, для пересчета рабочих характеристик насоса с воды на более вязкую жидкость с помощью эмпирической методики требуется наличие большой базы экспериментальных данных.

Программный комплекс *ANSYS CFX* использует методы вычислительной гидродинамики и его можно использовать для расчета потока с различной плотностью и вязкостью внутри проточной части и определения их влияния на интегральные характеристики насоса.

Расчет интегральных характеристик был проведен для жидкостей с коэффициентом кинематической вязкости в диапазоне  $\nu = 0,15-150$  сСт. Коэффициент вязкости  $\nu = 0,15$  сСт соответствует физическим свойствам тяжелого жидкометаллического теплоносителя (ТЖМТ), перекачиваемому ГЦНА (главный циркуляционный насосный агрегат) в перспективных реакторных установках.

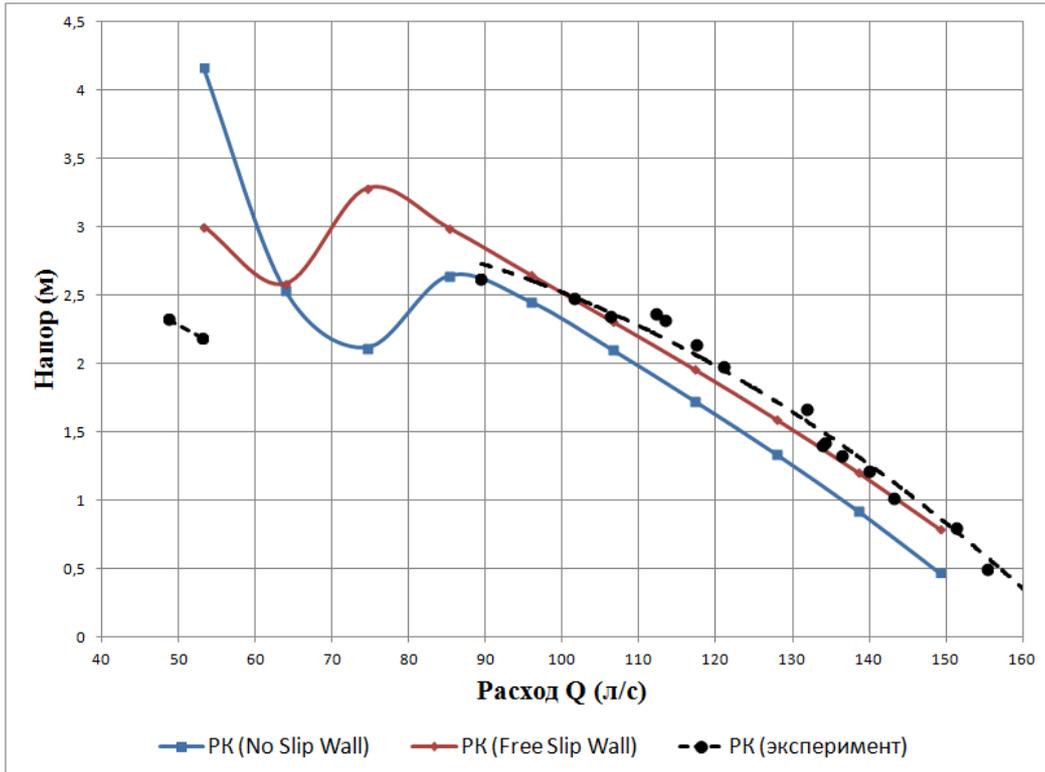


Рис. 2 – Расчетные напорные характеристики насоса ЦН-44

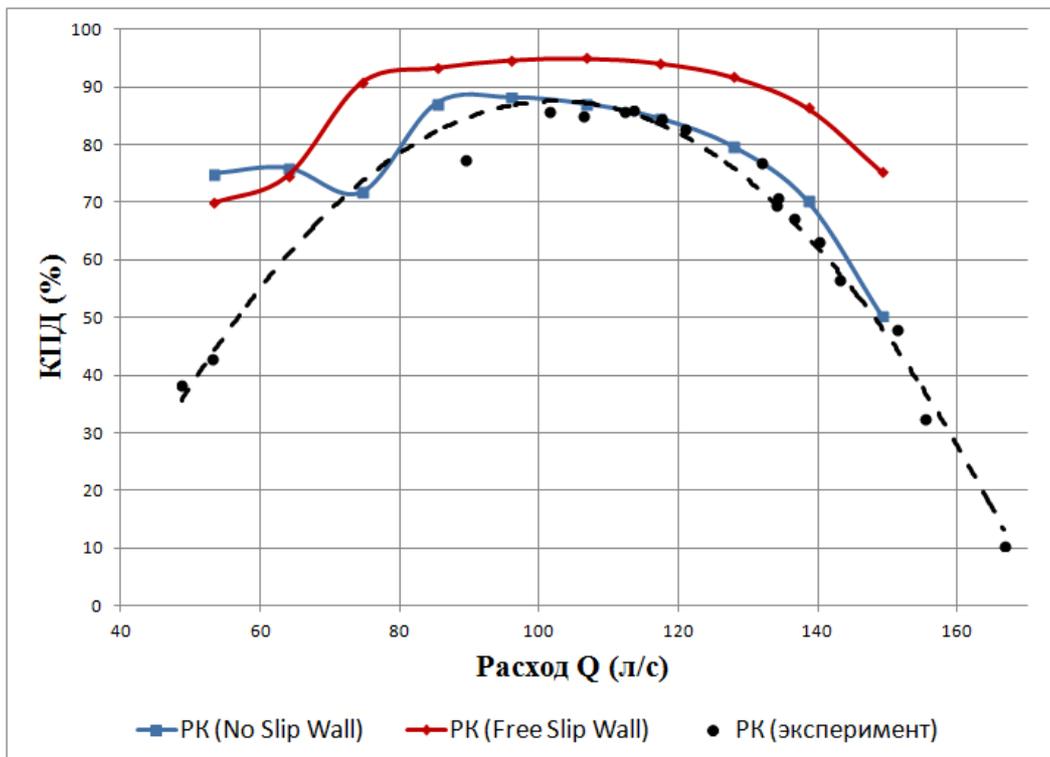


Рис. 3 – Расчетные характеристики КПД насоса ЦН-44

На рис. 4 изображены графики напора, КПД, затраченной мощности насоса  $N$  в зависимости от вязкости жидкости, при постоянном числе оборотов для оптимального режима работы.

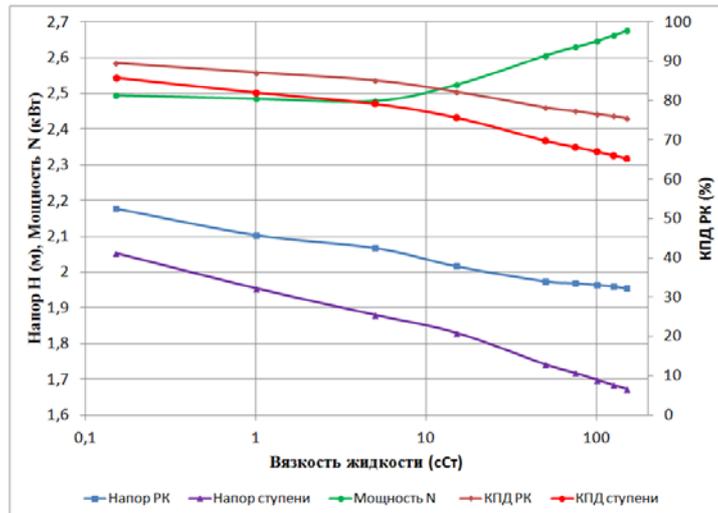


Рис. 4 – Залежність інтегральних параметрів насоса ЦН-44 від в'язкості рідини

Представлені графіки погоджуються з експериментальними даними обобщеними А.И. Степановим. По ним можна зробити наступні висновки. При постійному числі оборотів насоса і збільшенні в'язкості перекачуваної рідини напор відповідний оптимальній подачі зменшується. При збільшенні в'язкості з 0,1 сСт до 150 сСт, зменшення напора робочого колеса становило  $\sim 9\%$ , а ступені  $\sim 18\%$ . КПД насоса знизився на  $22,5\%$ . З збільшенням в'язкості, також збільшується затрачена потужність насоса на  $\sim 6\%$ .

В цілому можна утверджувати, що програмний комплекс *ANSYS CFX* дозволяє з достаточною точністю прогнозувати інтегральні характеристики осевого насоса з урахування впливу фізичних властивостей перекачуваної рідини.

**Список літератури:** 1. Кочевский, А.Н. Современный подход к моделированию и расчету течений жидкости в лопастных гидромашинах [Текст] / А.Н. Кочевский, В.Г. Неня // Вісник Сумського державного університету. – Суми, 2003. – Вип. 13(59). – С. 195-210. 2. Степанов, Л.И. Центробежные и осевые насосы. Теория, конструирование и применение [Текст] / Л.И. Степанов. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1960. – 468 с. 3. Ляпков, П.Д. О влиянии в'язкости на характеристику погружных центробежных насосов [Текст] / П.Д. Ляпков // Труды ВНИИ. – Вип. 41. – М.: Недра, 1964.

Поступила в редколлегию 20.09.13

УДК 621.671.001.024

**Исследование влияния условий течения жидкости на интегральные характеристики осевого насоса с быстроходностью  $n_s = 570$**  [Текст] / Д.Г. Свобода, А.А. Жарковский // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 1(1044). – С. 121-124. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2078-774X.

Представлені результати експериментального і розрахункового дослідження осевого насоса з коефіцієнтом швидкохідності  $n_s = 570$ . Розрахункове дослідження проводилося з використанням тривимірної методи. Отримано гарне узгодження розрахункових і експериментальних інтегральних параметрів.

**Ключові слова:** осевий насос, проточна частина, інтегральні параметри, методика розрахунку, енергетичні характеристики.

The results of experimental and computational studies of the axial pump with speed coefficient  $n_s = 570$ . Estimated study was performed using a three-dimensional method. The good agreement between the calculated and experimental integral parameters.

**Keywords:** axial pump liquid end, the integral parameters, calculation methods, the energy characteristics.