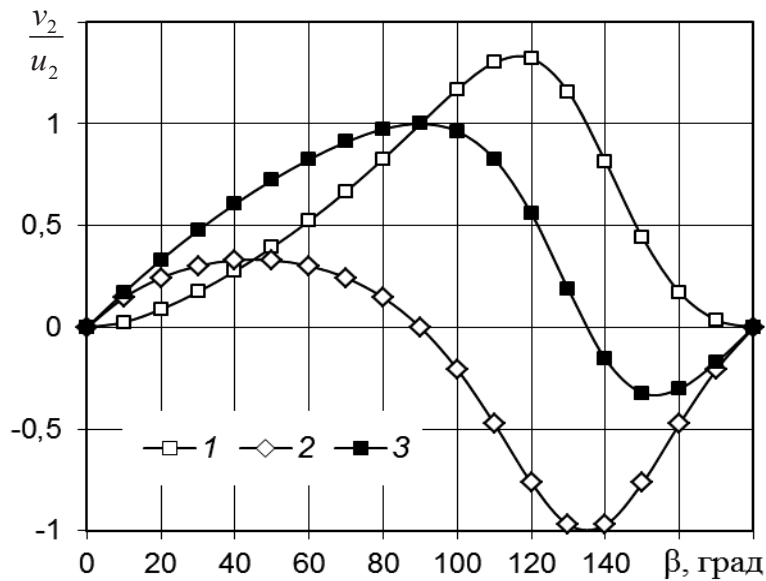


ВЫСОКОНАПОРНЫЙ РАДИАЛЬНЫЙ НАГНЕТАТЕЛЬ

Для достижения высокого напора в радиальном нагнетателе с одним колесом необходимо иметь большое значение окружной скорости u . Однако окружная скорость ограничена условиями прочности колес и кавитацией: для чугунных колес она не должна превышать 40, а для стальных легированных – 300 м/с. В специальных конструкциях транспортных нагнетателей для колес из легких сплавов высокой прочности допускаются окружные скорости до 500 м/с [1]. В насосах, подающих воду и технические жидкости скорость вращения, а, следовательно, и напор лимитируется обычно условиями возникновения кавитации.

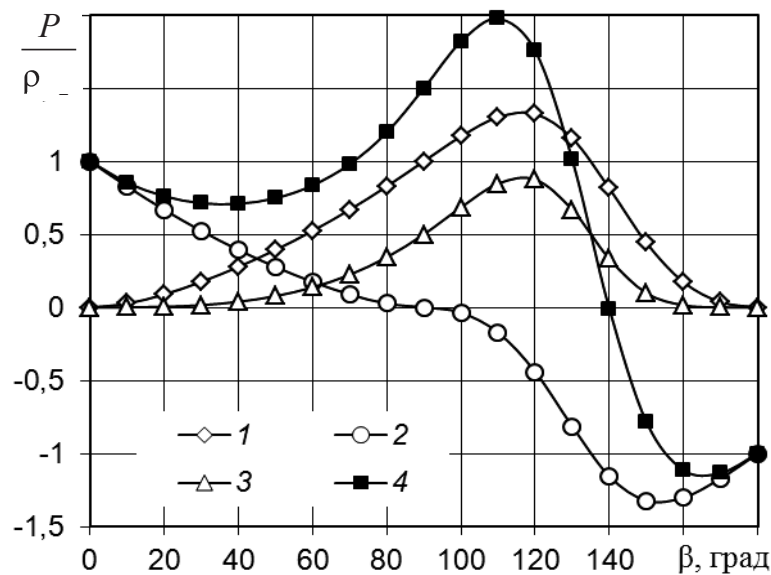
Для создания высоких давлений жидкости или газа центробежные машины с одним рабочим колесом оказываются непригодными и их замещают многоступенчатыми. При последовательном включении колес напоры, создаваемые ими, складываются так, что полный напор машины равен сумме напоров отдельных ступеней. В большинстве случаев при подаче несжимаемых жидкостей геометрические размеры всех ступеней одинаковы, и поэтому полный напор такой машины равен напору одной ступени, умноженному на число ступеней машины. При выходе из направляющего лопаточного устройства первой ступени поток обладает значительными тангенциальными составляющими абсолютной скорости, т. е. он закручен относительно оси машины. Если такой поток будет подведен к лопастям рабочего колеса второй ступени машины, то здесь он сможет получить приращение энергии, обусловленное лишь разностью окружных скоростей выхода и входа. В связи с этим после каждой ступени устанавливают направляющие аппараты для устранения закручивания потока с целью эффективной передачи энергии потоку в последующую ступень машины.

Известно [2–4], что скорости движения среды в рабочем колесе радиального нагнетателя (рисунок 1) и развиваемое давление (рисунок 2) в значительной степени зависят от угла наклона лопастей. В частности, тангенциальная скорость движения среды v_{2u} в направлении окружной скорости u_2 на выходе из колеса под действием лопастей, а также радиальная ее скорость под действием центробежной силы v_{2r} при любых значениях угла наклона лопастей β имеют положительные значения (рисунок 1). Радиальная скорость движения среды на выходе из колеса v_{2r} под действием лопастей имеет как положительные (при $\beta < 90^\circ$), так и отрицательные величины (при $\beta > 90^\circ$).



1 – $v_{2u} / u_2 = v_{2u} / u_2$; 2 – v_{2r} / u_2 ; 3 – v_{2cr} / u_2

Рисунок 1 – Зависимость отношения скоростей от угла наклона лопастей



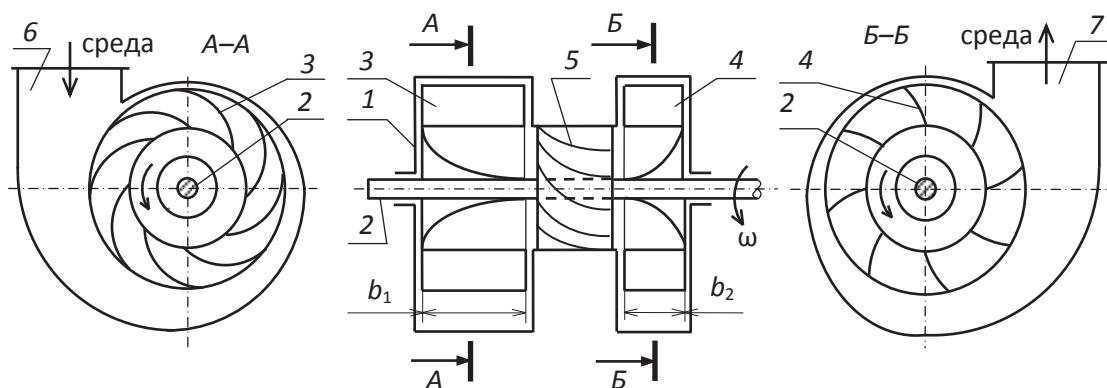
1 – $P_u / \rho u_2^2$; 2 – $P_r / \rho u_2^2$; 3 – $P_{\text{ц}} / \rho u_2^2$; 4 – $P / \rho u_2^2$

Рисунок 2 – Зависимость давления от угла наклона лопастей

Суммарная скорость движения потока в радиальном направлении v_{2cr} под действием лопастей колеса и центробежной силы, определяющая расход среды через нагнетатель, положительна при $\beta < 135^\circ$ и отрицательна при больших углах. В первом случае среда движется от центра к периферии, во втором, наоборот – от периферии к центру. Такая особенность расположения лопастей дает возможность изменять направление движения среды.

Угол наклона лопастей сказывается также на давлении радиального нагнетателя. Динамическое давление P_u , создаваемое лопастями, и часть статического давления $P_{ц}$, создаваемого центробежной силой, при любых углах β имеют положительные значения (рисунок 2). Часть статического давления P_r , создаваемого лопастями колеса, положительна, если лопасти отогнуты назад по отношению к направлению вращения ($\beta < 90^\circ$), и отрицательна при бóльших углах. Суммарное давление P (кривая 4 на рисунке 2) имеет положительные значения при $\beta < 140^\circ$ и отрицательные при бóльших углах. В последнем случае среда не нагнетается, а, наоборот, всасывается колесом.

Проведенный анализ скоростей движения среды в зависимости от угла наклона лопастей позволяет скомпоновать на одном валу радиального нагнетателя две ступени повышения давления (рисунок 3).



- 1 – корпус; 2 – вал; 3 – лопасти с большим углом наклона;
 4 – лопасти с малым углом наклона; 5 – направляющий аппарат;
 6 – входной патрубок; 7 – нагнетательный патрубок

Рисунок 3 – Вариант конструкции высоконапорного нагнетателя

На первой ступени угол наклона лопастей 3, закрепленных на валу 2 в корпусе 1, превышает 140° . При вращении лопастей с угловой скоростью ω они забирают среду, входящую по патрубку 6, и направляют ее от периферии к центру. Давление среды повышается до некоторого промежуточного значения. Затем с помощью направляющего аппарата 5 устраняется закручивание потока и он поступает на вторую ступень, лопасти 4 которой имеют угол наклона меньше 140° . При вращении лопастей второй ступени, закрепленных на том же валу 2, они направляют среду от центра к периферии и дополнительно повышают ее давление. Далее среда выводится из нагнетателя по патрубку 7.

Как следует из рисунка 2 лопасти, имеющие угол наклона более 140° , создают максимальное давление при $\beta = 160-170^\circ$. Вместе с тем наибольшие расходы среды согласно рисунку 1 наблюдаются при $\beta \approx$

153°. Следовательно, на первой ступени радиального нагнетателя целесообразен угол наклона лопастей в диапазоне 155–165°. Меньшее значение диапазона соответствует бóльшим расходам и меньшим давлениям, а второе – меньшим расходам и бóльшим давлениям. Статическое давление P_u , невелико, давление создаваемое центробежной силой $P_{ц}$, ничтожно. Возможны также другие углы наклона лопастей, близкие к указанному диапазону.

При углах наклона лопастей до 140° также возможны различные варианты. Максимальный расход среды наблюдается при $\beta = 90^\circ$, но давление нагнетателя меньше и включает динамическое давление P_u и статическое давление $P_{ц}$, создаваемое центробежной силой. Статическое давление P_r отсутствует. Максимальное давление достигается при угле наклона лопастей 110°, но расход среды меньший. Однако даже меньший из отмеченных расходов почти в 3 раза превышает расход среды через колесо с углами наклона лопастей диапазона 155–165°. В таких случаях для выравнивания расхода среды через оба колеса необходимо изменять соотношение ширины лопастей, в частности, ширину лопастей колеса с углами наклона более 140° принимать больше ширины лопастей с углами наклона менее 140° ($b_1 > b_2$). В целом давление нагнетателя, создаваемое обоими колесами, в зависимости от углов наклона лопастей возрастает в 1,5–2 раза.

Таким образом, варьируя углом наклона лопастей на рабочих колесах радиального нагнетателя можно подобрать наряду с повышением давления приемлемую окружную скорость колеса путем изменения его диаметра или частоты вращения.

ЛИТЕРАТУРА

1 Черкасский, В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры / В.М.Черкасский. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – С. 56–58.

2 Павлечко, В.Н. Влияние ускорения Кориолиса на напор радиального нагнетателя / В.Н. Павлечко // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы МНТК. Минск, 26–28 ноября 2014 г. В 2-х частях. Часть 1. – Минск: БГТУ, 2014. – С. 166–170.

3 Павлечко, В.Н. Влияние угла наклона лопастей на давление радиального нагнетателя / В.Н.Павлечко, С.К.Протасов // Химическая промышленность, 2014, т. 91, № 5. – С. 252–258.

4 Павлечко, В.Н. К вопросу о теоретическом давлении радиального нагнетателя / В.Н.Павлечко, С.К.Протасов // ИФЖ, 2014, т. 87, № 6. – С. 1448–1454.