

## О ПОПЫТКАХ ПОВЫШЕНИЯ НАПОРНОСТИ МАЛОГАБАРИТНЫХ ОСЕВЫХ СТУПЕНЕЙ ПУТЕМ КОМБИНИРОВАННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ

*А.А. Евтушенко, И.П. Каплун*

Естественное изменение геологических условий залегания и структуры запасов нефти приводит, по информации разработчиков месторождений, к образованию значительного фонда скважин с осложненными условиями добычи. Для подъема нефти из таких скважин необходимо высоконапорное погружное насосное оборудование, надежно работающее на глубинах порядка 1000-1500 м. Создание напоров подобного уровня приводит к значительному росту длины насоса (количество ступеней доходит до 300), что существенно осложняет его сборку, монтаж и демонтаж. По этой причине в качестве одного из определяющих критериев для оценки погружного насосного оборудования гидродинамического принципа действия можно рассматривать напорность – отношение напора ступени к ее монтажной длине  $H_{ст}/L_{ст}$ . С учетом того, что на данный момент только в Российской Федерации более 70 % всей нефти добывается погружными центробежными насосами типа ЭЦН, становится очевидной чрезвычайная актуальность проблемы повышения напорности подобного оборудования.

Примером удачного решения поставленной задачи может служить центробежновихревая ступень, разработанная ЗАО «Новомет-Пермь». В этой конструкции вдоль края рабочего колеса на тыльной стороне основного диска устанавливается вихревой венец, а на поверхности направляющего аппарата выполняется боковой кольцевой канал. Ячейки вихревого венца создают в боковом канале дополнительный турбулентный поток, который попадает на лопатки аппарата. Приобретенная жидкостью турбулентная кинетическая энергия преобразуется в напор, который складывается с напором, создаваемым центробежной частью рабочего колеса. Вихревой эффект позволяет увеличить напорность ступеней в среднем на 15-25 %, оказывая наибольшее влияние на напорную характеристику в области малых подач ( $q < 0,5$ ).

Все попытки применить вышеописанный положительный опыт комбинированного использования рабочих процессов для разработанной на кафедре прикладной гидроаэромеханики СумГУ малогабаритной осевой ступени путем установки вихревых венцов в торцах (опорных пятках) рабочего колеса не дали положительных результатов.

Более перспективным для осевого колеса представляется использование осевихревой ступени, разработанной на «Калужском турбинном заводе» Анкудиновым А.А. и Зотовым Б.Н. Эта ступень представляет собой насос, состоящий из осевого колеса и размещенной на его периферии неподвижной винтовой нарезки, ход лопастей которой противоположен ходу лопастей шнека. Течение жидкости в осевихревой ступени имеет сложный про-

странственный характер с вихревым течением на периферии. Упрощенно весь поток можно разделить на две зоны основной осесимметричный поток, расположенный вблизи втулки шнека, и вихревой поток в периферийной части осевого колеса и в неподвижной решетке. Обратные токи, которые развиваются при малых относительных подачах ( $q < 0,5$ ) в осевихревой ступени, дробятся в каналах неподвижной решетки и образуются вихри, имеющие форму жгута в центральной части винтовых каналов. Периферийное вихревое течение не загромождает поток и позволяет повысить напор ступени на 81% на нулевой подаче, сохраняя значение КПД на уровне 55-60 %.

Планируется на базе малогабаритной осевой ступени, имеющей параметры  $Q=800$  м<sup>3</sup>/сутки,  $H=2,2$  м при  $\eta=0,6$  создать подобную осевихревую ступень путем установки нарезки в статорном аппарате на периферии рабочего колеса. Специфичность погружных насосов заключается в ограничениях, накладываемых на радиальные габариты проточной части. Установка нарезки влечет за собой уменьшение диаметра рабочего колеса, что, соответственно, приводит к падению напора ступени. Экспериментальные исследования, проведенные разработчиками осевихревой ступени, показывают, что оптимальное соотношение высот лопастей неподвижной нарезки и шнека  $h_n/h_{ш}=0,5$ , а оптимальное соотношение сторон канала неподвижной нарезки  $h_n/a_n=0,5$ , где  $a_n$  — ширина канала. Учитывая, что у исходной ступени высота лопастей составляет 15 мм, принимаем  $h_n=5$  мм,  $h_{ш} \approx 10$  мм, а число лопастей нарезки  $z_n=22$ . При выборе угла установки лопастей нарезки принимались во внимание следующие факторы:

коэффициент напора осевихревой ступени связан со средним углом установки лопастей  $\alpha=(\alpha_n+\alpha_{ш})/2$  зависимостью

$$\bar{H} = k \cos \alpha \sin^2 \alpha, \quad (1)$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности;

$\alpha_n=90^\circ-\beta_n$  — угол установки лопастей нарезки;

$\alpha_{ш}=90^\circ-\beta_{ш}$  — угол установки лопастей шнека

угол установки лопастей шнека на внешнем диаметре при его подрезке до  $D_2=75$  мм составит  $\beta_{ш}=28^\circ 30'$ .

Максимум функции (1) приходится на значение  $\beta_n=40^\circ - 42^\circ$ . Принимаем  $\beta_n=40^\circ$ . Оценочные расчеты, проведенные по методике, предложенной Анкудиновым А.А., позволяют предположить, что эффект от установки нарезки, несмотря на влияние уменьшения диаметра рабочего колеса малогабаритной осевой ступени, позволит добиться повышения напора в пределах 15-20 % в области малых подач.

Для проверки достоверности вышеописанных расчетов необходимо проведение сравнительного анализа результатов расчета и опытных данных. С этой целью в данный момент проводится изготовление осевихревой проточной части, спроектированной на базе малогабаритной осевой ступени.