

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАСОСОВ КАК СРЕДСТВО УЛУЧШЕНИЯ ИХ МАССОГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

А.Н. Гулый, канд. техн. наук;

А.А. Поклад, аспирант,

Сумский государственный университет, г. Сумы

Повышение частоты вращения вала насосных агрегатов является наиболее эффективным и в то же время мало использованным способом радикального повышения их энергонасыщенности. Такие насосы широко применяются в различных отраслях промышленности: в качестве питательных в небольших энергоблоках, в системах гидроочистки в металлургии, для повышения пластового давления (ППД) на нефтепромыслах. В данной статье рассматриваются основные проблемы, связанные с повышением частоты вращения, а также типы насосов, для которых повышение количества оборотов будет наиболее выгодным.

Ключевые слова: частота вращения вала, насосный агрегат, массогабаритные характеристики, энергонасыщенность.

Підвищення частоти обертання вала насосних агрегатів є найбільш ефективним і в той же час найменш використаним засобом радикального підвищення їх енергонасиченості. Такі насоси широко застосовуються у різних галузях промисловості: як насоси живлення у невеликих енергоблоках, у системах гідроочистки у металургії, для підвищення пластового тиску (ППТ) на нафтопромислах. У цій статті розглядаються основні проблеми, пов'язані з підвищенням частоти обертання, а також типи насосів, для яких підвищення кількості обертів буде найбільш ефективним.

Ключові слова: частота обертання вала, насосний агрегат, енергонасиченість, массогабаритні характеристики.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня ни у кого уже нет сомнений в том, что повышение стоимости как энергоресурсов, так и конструкционных материалов будет продолжаться с увеличивающейся скоростью, в связи с чем усилится борьба за снижение массогабаритных показателей, в том числе и насосов и их приводов. Повышение технологических затрат на изготовление более энергоемкого и совершенного насоса и приводного двигателя в определенный момент станет выгодным, поскольку с лихвой окупится снижением расхода стали и сплавов, меди, алюминия и т.д. Компактное энергонасыщенное оборудование позволит экономить на строительных площадях, транспорте, монтажных работах.

Частота вращения динамических электронасосных агрегатов общего применения ограничена частотой вращения асинхронных двигателей на уровне 3 000 об/мин. В то же время, как показывает анализ современных источников, при общепринятом ресурсе на уровне 30 000-50 000 часов, оптимальные частоты вращения динамических насосов лежат в пределах 6 000-12 000 об/мин. При таких частотах вращения не только снижаются массогабаритные показатели и стоимость агрегатов, но и во многих случаях повышается коэффициент полезного действия, в первую очередь, за счет повышения коэффициента быстроходности ступени n_s .

ПОСТАНОВКА И АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАСОСОВ

Обоснование актуальности данной работы, посвященной оптимизации выбора частоты вращения центробежных насосов с малой подачей,

приблизительно 25 м³/час, при высоком напоре, порядка тысяч метров, можно обосновать следующими положениями:

- существует неудовлетворенная потребность в насосах на такие параметры, в том числе на уровне разработки;
- перспективы создания таких насосов связаны с повышением частоты вращения сверхстандартных 3 000 об/мин;
- частота вращения является ключевым параметром насоса, определяющим массогабаритные показатели, коэффициент полезного действия, ресурс и надежность;
- нет общепринятого мнения по оптимальной частоте вращения таких насосов, т.е. оптимальная частота вращения неизвестна.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной тип привода насоса – асинхронный или синхронный электродвигатель, для которого 3 000 об/мин является пределом, связанным с частотой электросети 50 Гц. Большая часть насосного оборудования должна работать годами круглосуточно, поэтому коллекторные двигатели не проходят по ресурсу и надежности. То же можно сказать о мультипликаторах. Плюс шум и вибрации.

Буквально в последнее десятилетие произошел прорыв в силовых полупроводниках, в связи с которым появились компактные, надежные и относительно недорогие транзисторные частотные преобразователи, сделавшие в принципе возможным широкое распространение асинхронных и синхронных электродвигателей с высокой частотой вращения, которые можно было бы использовать в качестве привода для динамических насосов. Однако действует замкнутый круг: достаточной номенклатуры дешевых серийных двигателей нет, потому что нет спроса, который мог бы быть сформирован в достаточном объеме насосным рынком. В свою очередь, высокооборотных насосов практически нет, потому что отсутствует привод с требуемыми техническими характеристиками и экономическими показателями. Этот круг будет, естественно, разорван, но не в один год. Предпосылки к этому есть, в смежных отраслях уже заметно движение. Например, в компрессоростроении - уже производятся газоперекачивающие агрегаты с прямым электроприводом. Агрегат производства "Электропульт" (СПб) мощностью 6 300 кВт и частотой вращения 8200 об/мин укомплектован синхронным электродвигателем и частотным преобразователем "Сименс". При таких параметрах обеспечить работоспособность опор удалось за счет магнитного подвеса как компрессора, так и двигателя. Понятно, что сегодня несерийные двигатели "Сименс" в насосостроении не найдут применения из-за дороговизны. То же можно сказать об "ABB".

Если уж все равно необходим электронный преобразователь частоты, то лучше перейти от асинхронного к индукторному двигателю. Его ротор не содержит обмоток, заливоч алюминием и т.д., поэтому не разрушится на высоких частотах вращения. Оказалось, что подобные индукторные машины (двигатели и генераторы) производит НП ЗАО "Электромаш" (Тирасполь), руководство которого согласилось на приемлемых условиях на создание высокооборотных вентильно-индукторных двигателей для перспективных насосов.

Таким образом, данная проблема разрешима, а следовательно, становится возможным подобрать наиболее приемлемый привод для любого высокооборотного насоса.

Главным недостатком, сдерживающим развитие этого направления и определяющим возможность рыночной реализации указанных насосных агрегатов, является их сложная конструктивная схема и низкие показатели надежности, связанные с высокой частотой вращения, которая обуславливает ускоренный износ элементов проточной части при

неизбежном наличии в перекачиваемой среде сероводорода и механических примесей. В процессе эксплуатации насоса могут появиться следующие дефекты корпусных деталей: коррозионно-эрозионный износ, свищи, трещины, забоины на плоскостях разъема, износ посадочных мест, повреждение резьбы, а также кавитация, химическая эрозия и проблемы с динамикой ротора.

Именно в высокооборотных машинах повышенная вибрация на частоте вращения и кратных частотах существенным образом снижает ресурс машины, с одной стороны, а с другой - чаще всего является следствием появления в машине или фундаменте отдельных дефектов. Поэтому для данного вида насосов динамическая балансировка роторов проводится обязательно, а величина допустимого дисбаланса принимается 2 % от массы ротора, приходящейся на опору.

Виброналадка выполняется по результатам контроля вибрации насоса, прежде всего для обеспечения безопасных уровней вибрации высокооборотных ответственных машин со скоростью вращения 3 000 об/мин и выше. В рамках виброналадки после обнаружения причин роста вибрации выполняется ряд сервисных работ, таких как центровка, балансировка, изменение колебательных свойств машины, а также замена смазки и устранение тех дефектов в узлах машины или фундаментных конструкциях, которые повлекли за собой опасный рост вибрации.

Жесткие требования к вибрации ответственных высокооборотных машин определяют необходимость периодического или постоянного контроля их вибрации и принятия мер по ее снижению до существующих требований как после обслуживания или ремонта машины, так и в процессе ее эксплуатации.

Очевидно, что с повышением частоты вращения, у насосов возрастает и проблема кавитации. Кроме разрушения материала, кавитация приводит к существенному снижению КПД, повышению вибрации, ударным нагрузкам на элементы проточной части и в конечном итоге к срыву характеристик H , N и КПД.

Кавитация может быть уменьшена при поддержании достаточного избыточного давления на входе в насос, которое будет выше давления парообразования, с помощью установки предвключенного насоса, или увеличении гидростатического давления, например, помещением устройства на достаточной глубине по отношению к свободной поверхности жидкости, а также подбором соответствующих форм элементов конструкции, при которых вредное влияние кавитации уменьшается. Для уменьшения эрозии лопасти рабочих колёс изготавливают из нержавеющей стали и шлифуют.

Чтобы предотвратить нежелательный эффект кавитации для стандартных насосов с низкой всасывающей способностью, необходимо обеспечить, чтобы кавитационный запас (NPSHA) системы был выше, чем кавитационный запас (NPSHR) насоса. Насосы с высокой всасывающей способностью требуют запаса для NPSHR. Стандарт Гидравлического института (ANSI/HI 9.6.1) предлагает увеличивать NPSHR в 1,2-2,5 раза для насосов с высокой и очень высокой всасывающей способностью при работе в допустимом диапазоне рабочих характеристик.

При создании высокооборотных насосов требуется реализация следующих конструктивных и технологических решений:

- специальное расположение шпоночных пазов на валу для повышения изотропности ротора и фазовой компенсации по ступеням гидродинамических возмущений, обусловленных неоднородностью потока на выходе из рабочих колёс;

– применение поэлементной технологии балансировки роторов, позволяющей снизить до допустимых уровней как динамические нагрузки на опорные узлы, так и напряженно-деформированное состояние самих роторов.

Применение в насосах специальных конструкций щелевых уплотнений с минимальными зазорами позволяет повысить объемный КПД насоса. Резервы повышения КПД следует так же искать в повышении гидравлического КПД проточной части. Здесь следует рассматривать два аспекта. Первое – улучшение чистоты поверхности проточной части. Предварительная оценка показывает, что при уменьшении шероховатости с Ra 6,3 до 3,2 гидравлический КПД повышается на 1,5 %. Второе – это гидравлически совершенная форма проточной части. Если предположить, что в результате хорошей зачистки проточной части можно увеличить гидравлический КПД на 1,5 %, а в результате оптимального профилирования – на 2 %.

ВЫВОДЫ

Перед насосостроением ставится новая задача внедрения достижений электротехники и электроники, динамики гидромашин для создания новых гидродинамических насосов с лучшими технико-экономическими и производственно-технологическими характеристиками. Наиболее перспективным данное направление является для насосов типов:

- нефтехимические - экономия дорогих металлов и сплавов, стойких к агрессивной среде;
- высоконапорные насосы ЦНС с малыми подачами (10, 25 м³/ч) - с частотами вращения до 3 000 оборотов вообще невозможно создание эффективных насосов из-за малого n_s , повышение пластового давления, гидроочистка и т.д.;
- питательные насосы для энергоблоков - снижение стоимости и повышение КПД, возможность использования парового турбопривода;
- скважинные насосы для воды и нефти - радикальное снижение цены за счет уменьшения числа ступеней, повышение дебета скважин для данного диаметра обсадной трубы.

Основные технические проблемы высокооборотных насосов, которые связаны с ресурсом и надежностью подшипников, уплотнений, динамической устойчивостью ротора и кавитацией, на сегодняшний день принципиально преодолимы.

SUMMARY

EXISTING PERSPECTIVES OF ROTATION SPEED INCREASE OF ROTODYNAMIC PUMPS IN MEANS OF THE IMPROVEMENT OF THEIR MASS-OVERALL CHARACTERISTICS

A.N. Gulyi, A.A. Poklad
Sumy State University, Sumy

Rotation speed increase of pump unit shaft is the most effective and at the same time the least used method of their energy-intensity radical increase. Such pumps are widely used in different branches of industry: as feed pumps for small power units, for hydrofining systems in metallurgy, for formation pressure increase in oil field. The main problems, connected with rotation speed increase and pump types, for which rotation quantity increase will be more effective, are regarded in the given article.

Key words: rotation speed increase, pump unit, rotodynamic, energy-intensity.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Совершенствование насосного оборудования на базе опыта создания ракетной техники и технологий / С.Г. Валюхов, А.А. Витошкин, В.К. Першин и др. // Труды 8-й

- Международной научно-технической конференции "Насосы-96". (Сумы, 3-6 сентября 1996 г.). – Сумы, 1996. - Т.2. - С. 63-67.
2. Багманов А.А. О результатах создания и внедрения насосов для закачки воды в нефтяные пласты / А.А. Багманов // Труды 11-й Международной научно-технической конференции "Герметичность, вибронадежность и экологическая безопасность насосного и компрессорного оборудования "ГЕРВИКОН-2005". (Сумы, 6-9 сентября 2005 г.). – Сумы, 2005. - Т. 1 .
 3. Совершенствование насосов типа ЦНС для систем ППД с применением встроенных опорных подшипников скольжения, работающих на перекачиваемой среде / А.К. Давиденко, Н.Н. Боярко, С.Н. Кацов, Н.И. Цвык и др. // Труды конференции «Гервикон-2005». – Сумы, 2005. - Т.1. - С.59-69.
 4. Цема А. Д. Вибропрочность многоступенчатых центробежных насосов систем поддержания пластового давления со встроенными опорными подшипниками скольжения на перекачиваемой среде / А.Д. Цема, А.Ю. Орлов // Материалы международной научно-технической конференции «esompr.ru'2007. Эффективность и экологичность насосного оборудования»: тезисы докладов (Октябрь 2007 г.). – М.:МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – С. 53-54.
 5. Lymer A. An engineering approach to the selection and application of mechanical seals / 4-th International Conference on Fluid Sealing, USA. – 1999 - P. 30-32.
 6. Zhu Zuchao, Theoretical study and engineering implementation of superlow-specific-speed high-speed centrifugal pumps, Ji Xie Gong Cheng Xue Bao (Journal of Mechanical Engineering), 2000,36(4):30-33.

Поступила в редакцию 27 января 2010 г.