

## ПУТИ УМЕНЬШЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НАСОСНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

*И.А. Ковалёв, профессор;*

*А.В. Ратушный, магистр,*

*Сумский государственный университет, г. Сумы*

*В работе рассматривается проблема уменьшения энергопотребления насосным оборудованием и гидравлическими системами, которое сегодня достигает от 25 до 60% в разных областях экономики. Причем сформулированные пути достижения существенного уменьшения на уровне 40% до 2020 г. согласно провозглашенной в 2007 г. Директивой ЕС и с намерениями Европейской ассоциации производителей и потребителей насосного оборудования "Еигоритр".*

*Работа является одной из первых такого направления, в которой представлено комплексное авторское видение решения проблемы существенного уменьшения энергопотребления насосным оборудованием. В работе предложены и проанализированы все основные блоки комплексной программы – источники энергии, рациональный выбор приводного двигателя, энергосбережение на уровне самого насоса, насосного агрегата в целом вместе с системой управления, резервы экономии в трубопроводных сетях и технологических процессах потребителей. А также предлагаются возможные инновационные пути дальнейшего развития насосостроения с использованием нетрадиционных подходов.*

***Ключовые слова:** энергопотребление, насосное оборудование, гидравлические системы.*

*У роботі розглядається проблема зменшення енергоспоживання насосним обладнанням і гідравлічними системами, яке сьогодні сягає від 25 до 60% у різних галузях економіки. Причому сформульовані шляхи досягнення суттєвого зменшення на рівні 40% до 2020р. згідно з проголошеною в 2007 р. Директивою ЄС і з намірами Європейської асоціації виробників і споживачів насосного обладнання «Еигоритр».*

*Робота є однією із перших такого спрямування, в якій подано комплексне авторське бачення вирішення проблеми суттєвого зменшення енергоспоживання насосним обладнанням. У роботі запропоновані і проаналізовані всі основні блоки комплексної програми – джерела енергії, раціональний вибір привідного двигуна, енергозбереження на рівні самого насоса, насосного агрегату в цілому разом із системою управління, резерви економії у трубопроводних мережах і технологічних процесах споживачів. А також пропонуються можливі інноваційні шляхи подальшого розвитку насособудування з використанням нетрадиційних підходів.*

***Ключові слова:** енергоспоживання, насосне обладнання, гідравлічні системи.*

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что насосное оборудование является одним из самых энергоёмких в любой стране, причем, чем более развитая страна, тем выше удельный вес потребляемой насосами энергии.

В различных отраслях промышленности энергопотребление насосов составляет в среднем [1]:

- 1) в нефтяной промышленности – до 59%;
- 2) в химической – до 31%;
- 3) в целлюлозно-бумажной – до 26%;
- 4) в водоснабжении и водоотведении – до 50%.

Известно также, что снижение потребляемой энергии является сегодня ключевой задачей мирового сообщества. В частности, вышедшая в 2007

году Директива Евросоюза по этому вопросу предусматривает снижение общего энергопотребления в странах Европы к 2020 году на 20%. Причем снижение энергопотребления насосным оборудованием предусматривается на уровне 40% в сочетании с одновременным решением экологических проблем.

В этой связи Европейская ассоциация производителей и потребителей насосного оборудования Euroump приступила к разработке программы по реализации этих требований.

Для Украины такая задача носит особую актуальность, учитывая многопрофильность её экономики (нефтегазотранспортная система, горнодобывающая, нефтеперерабатывающая, химическая и металлургическая промышленности, энергетика, водоснабжение, теплофикация и т.д.) и чрезмерную энергозатратность большинства отраслей (в 2-4 раза) по сравнению с уровнем развитых стран. Кроме того, машиностроительная промышленность Украины является крупным производителем насосного оборудования не только для внутренних потребителей, но и на экспорт во многие страны, и поэтому она не может не учитывать тенденцию развития мирового рынка в этой отрасли. Всё это побуждает насосостроителей Украины активно включаться в разработку и реализацию общеевропейских программ снижения энергопотребления насосным оборудованием.

Целью настоящей работы является попытка установления основных направлений снижения энергопотребления насосными агрегатами путём комплексного анализа системы «насос-привод-потребитель (сеть)».

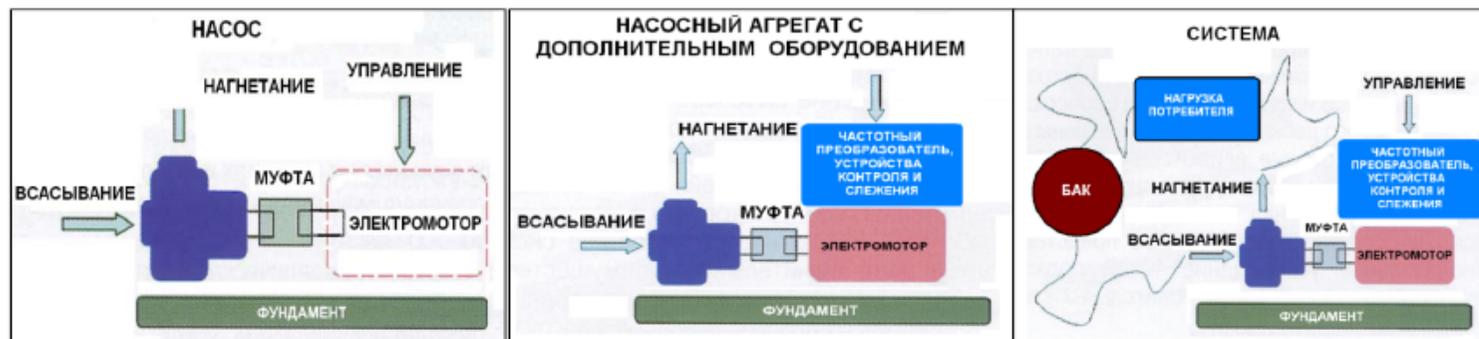
#### ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Вполне понятно, что задача по существенному (как уже указывалось, на 40%) снижению энергопотребления насосным оборудованием является задачей комплексной, учитывающей все потери энергии по пути от источника энергии до потребителя. Очевидно, под потребителем следует подразумевать жидкость (воду, нефть и пр.), которой сообщается механическая энергия, требуемая для осуществления того или иного технологического процесса.

На рис. 1 приведен перечень направлений энергосбережения и оценка их влияния на энергопотребление по материалам Euroump, из которых видно, что разработчики вполне справедливо видят потенциальные возможности экономии потребляемой энергии за счет собственно насоса, широкого регулирования режимов его работы в соответствии с запросами потребителя и программируемого согласования энергетических характеристик насосных агрегатов и сети.

Соглашаясь в целом с такой политикой энергосбережения, следует отметить, что в приведённой схеме явно просматривается намерение обеспечить экономию только электрического вида энергии (на рис. 1 везде указан электродвигатель в качестве приводного двигателя). Однако известно, что самой электрической энергии предшествуют огромные потери энергии первичных энергоресурсов (уголь, торф, газ, ядерная энергия), которые составляют в лучшем случае 60-65%. Как нам кажется, с точки зрения общепланетарного энергопотребления такой подход является неполным, т.к. создатели насосных агрегатов могут в ряде случаев выбирать тип привода, более приближенный к первичным источникам энергии.

Кроме того, приведённые на рис. 1 прогнозные пути снижения энергопотребления и возможные достижения по каждому из направлений являются весьма укрупнёнными и недостаточно обоснованными. Поэтому ниже делается попытка более точно конкретизировать эти направления и предложить более детальную программу достижения поставленной цели.



- Создание максимально эффективных насосов.
- Повышение эффективности действующих насосов с помощью сменных роторов, подрезок рабочих колёс и др.

**Снижение энергопотребления - 3%.**

- Регулирование режимов работы насосов с помощью частотного привода.
- Создание интеллектуальных систем управления и контроля.

**Снижение электропотребления - 20%.**

- Повышение качества монтажа пусконаладки обслуживания.

**Снижение энергопотребления - 3%.**

- Оптимизация всей системы.

**Снижение энергопотребления - 10%.**

- Согласование параметров сети и насоса.

**Снижение энергопотребления - 4%.**

Рисунок 1 – Направления энергосбережения

Как нам кажется, саму стратегию достижения этой цели более целесообразно представить в виде блок-схемы (рис. 2):



Рисунок 2 – Блок-схема стратегии энергосбережения

Как видно из приведенной блок-схемы, стратегия обеспечения существенного уменьшения энергопотребления насосным оборудованием базируется на комплексном подходе к поиску и реализации резервов экономии энергии во всех звеньях цепочки энергопередачи от источника до перекачиваемой жидкости.

Не претендуя на исчерпываемость, рассмотрим возможное содержание каждого из указанных блоков.

### ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Источниками для приводных двигателей насосов могут служить не только традиционные (попутно заметим – исчерпаемые и экологически вредные) ископаемые источники, такие как уголь, нефть, газ и ядерная энергия, которые через известные процессы преобразования (химические, термодинамические, механические) чаще всего используются насосниками в виде электрической энергии посредством электродвигателей, теряя при этом до 70% первичной энергии источника и нанося огромный ущерб окружающей среде в виде теплового и химического загрязнения.

Бороться с этими потерями не является прямой функцией насосостроителей. Однако в ряде случаев они могли бы при выборе типа привода насоса отдать предпочтение двигателю, приближенному к первичному источнику, сократив цепочку преобразований до электрического вида и тем самым уменьшив величину потерь первичной энергии.

Например, природный или попутный газ на нефтепромыслах, шахтный газ или многие технологические газы металлургических и химических производств, часто сжигаемых в факелах или просто выбрасываемых в атмосферу, могли бы служить даровым или дешевым источником энергии для приводных газопоршневых или газотурбинных двигателей.

Хорошо зарекомендовал себя паротурбинный привод главных питательных насосов на блоках тепловых электростанций большой мощности, где пар используется в качестве рабочего тела без преобразования в электрическую энергию. Этот энергоноситель можно было бы использовать в принципиально новом, пароструйном центробежном питательном или теплофикационном насосе, в котором спутные струи пара, затопленные в саму перекачиваемую жидкость, служили бы энергией для вращения ротора или объема жидкости в кольцевой камере, создавая поле центробежных сил и отдавая ей свою кинетическую и тепловую энергию.

Наконец, в ряде случаев в качестве источника механической энергии для привода насоса можно использовать энергию ветра, применив для этого ортогональный ветродвигатель с вертикальным валом. Такой ветродвигатель разработан и исследован на кафедре прикладной гидроаэромеханики Сумского государственного университета на основе специальной запатентованной сотрудниками кафедры лопасти. На базе такого ветродвигателя кафедрой предложен и проект создания

гидроаккумулирующей электростанции на берегу Чёрного моря, используя местные ветры, обратимый гидроагрегат «насос-турбина» и высокогорное озеро как накопитель.

### ПРИВОДНОЙ ДВИГАТЕЛЬ НАСОСА

В настоящее время в качестве приводного двигателя насоса в подавляющем большинстве случаев используются электродвигатели всех необходимых типов – асинхронные, синхронные, постоянного или переменного тока. Это обусловлено целым рядом преимуществ такого привода, и следует ожидать, что такая тенденция сохранится и в будущем. Однако следует иметь в виду, что конструкция большинства таких двигателей была разработана почти два века назад, и они до сих пор сохранили свои преимущества и, к сожалению, целый ряд недостатков, которые еще в прошлом веке не имели решающего значения [2].

В настоящее время такие электродвигатели имеет смысл применять в тех случаях, когда насос подавляющее количество времени будет работать в номинальном режиме. Сегодня же на практике всё чаще встречаются режимы с ненормальной (частичной) нагрузкой, вызванные изменениями характеристики сети, поэтому и от электродвигателя требуется более гибкое отношение к таким режимам, в том числе за счет регулирования частоты вращения. Такие двигатели должны иметь во всем диапазоне регулирования частоты вращения стабильно высокий КПД, по возможности работать по кривой, равной мощности, при поддержании постоянной частоты вращения электродвигатель должен потреблять энергию, пропорциональную моменту сопротивления (нагрузки).

Таким условиям отвечают двигатели постоянного тока, но они дороги, сложны, требуют квалифицированной эксплуатации. Поэтому применяется сегодня комбинация «асинхронный двигатель + частотный преобразователь», которая лишь частично удовлетворяет вышеуказанным требованиям. Из-за плохой совместимости такой привод эффективно работает лишь при регулировании частоты вращения в диапазоне  $\pm 30\%$  от номинала, а стремление к расширению этого диапазона приводит к существенному усложнению частотного преобразователя и увеличению его цены, что в свою очередь, сдерживает широкое применение регулируемого в широком диапазоне электропривода.

В настоящее время в связи с разработкой и освоением серийного производства управляемых транзисторов IGBT и MOSFET появились вентильные электромашины, которые хорошо сочетаются с цифровой системой управления на базе современных высокопроизводительных микропроцессоров и позволяют создать высокоэффективный регулируемый электропривод с любой требуемой программой управления. По мнению большинства специалистов, наиболее перспективными среди вентильных электромашин являются так называемые вентильно-реактивные электродвигатели ввиду более простой конструкции их электромагнитной системы, дешевизны и эффективной системы цифрового управления и силовой электронной части. Следует также отметить, что для вентильно-реактивных двигателей доступны более высокие частоты вращения из-за отсутствия необходимости жестко закреплять постоянные магниты на роторе и высокой механической прочности электротехнической стали. В настоящее время отработаны моноблочные конструкции таких двигателей совместно с блоком управления и глубиной регулирования от 500 до 12000 об/мин.

Такие комплексные вентильно-реактивные приводы оснащаются системой связи по CAN-протоколу, что позволяет управлять несколькими приводами (до 60) одновременно, что может быть эффективно

использовано в случае одновременной параллельной или последовательной работы нескольких десятков насосов. Есть сведения, что планируется выпускать вентильно-реактивные приводы с электромагнитными подшипниками вместо механических, которыми будет управлять процессор, что обеспечит существенное повышение моторесурса их приводов (а значит, и насосов при их моноблочном исполнении).

Однако прогресс в области электропривода насосов за счет применения вентильно-реактивных регулируемых двигателей не исключает применения в обоснованных случаях и других типов приводных двигателей. Уже упоминалось (п.2) использование паротурбинного привода для питательных или теплофикационных насосов ТЭС. Там же отмечалась возможность использования газа в качестве топлива для приводных двигателей в виде газовых турбин (особенно при больших мощностях) или двигателя внутреннего сгорания. Такой привод особенно эффективен в случае использования попутного газа на нефтепромыслах, шахтного газа в угледобывающих регионах, сопутствующих технологических газов металлургических и химических производств. Немаловажно отметить, что такое использование горючих газов помимо существенной экономической выгоды за счет его дешевизны имеет и большое экологическое значение, т.к. в основном эти газы сегодня либо сжигаются в факеле, либо просто выбрасываются в атмосферу.

Особый интерес сегодня представляет применение газопоршневого двигателя в качестве привода мощных нефтяных насосов при переходе на мультифазную (однотрубную) технологию добычи и транспортировки нефти. Неоспоримым преимуществом такого привода по сравнению с электро-, дизельным и газотурбинным приводами являются:

- 1) использование в качестве топлива дешевого попутного газа;
- 2) высокий КПД;
- 3) полная независимость от региональных энергосетей, а следовательно, и от роста тарифов;
- 4) отсутствие затрат на подводящих и распределительных электросетях или на оборудовании автономных электростанций;
- 5) устраняется необходимость доставки дизельного топлива или электроэнергии в удаленные районы нефтедобычи;
- 6) газопоршневой двигатель хорошо приспособлен для работы на частичных нагрузках и легко регулируется в зависимости от частой смены режима скважины;
- 7) наивысший КПД газовой турбины 30-35%, газопоршневого – 40%. При снижении же нагрузки на 50% КПД газовой турбины снижается почти в 3 раза, в то время как для газопоршневого двигателя такое же изменение нагрузки практически не влияет на КПД;
- 8) точно так же КПД газопоршневого двигателя почти не изменяется при изменении температуры окружающего воздуха от -30°C до +30°C;
- 9) проектный срок службы такого привода в 2 раза больше, чем у газовой турбины;
- 10) экологическая привлекательность газопоршневого двигателя: уровень выбросов  $NO_x$  у него в 3 раза ниже, чем у дизельного двигателя, и при этом полезно используется попутный газ, устраняя его сжигание в факеле.

Все вышеуказанные преимущества газопоршневого двигателя и опыт его эксплуатации приведен в [1], с. 30-38.

К сожалению, широкого распространения такие приводы в практике насосостроения пока не получили – и в этом можно усматривать серьезный резерв для общего снижения энергопотребления насосным оборудованием. Вполне очевидно, что насосы с таким приводом могли бы

работать и в целом ряде других отраслей, там, где есть бросовые отходящие или спутные технологические газы.

В п. 2 отмечалась также возможность применения в качестве насосного привода ортогонального ветродвигателя с вертикальным валом и прямого использования его механической энергии без преобразования её в электрическую. К сказанному ранее следует добавить, что такие ветродвигатели хорошо приспособлены к доминирующим на Украине умеренным скоростям ветра порядка 3-4,5 м/с, не зависят от направления набегания воздушного потока и не требуют начальной раскрутки. Применять их наиболее целесообразно для автономных и маломощных (10-15 кВт) насосных установок.

В некоторых случаях для привода насоса может быть выбран гидротурбинный или газотурбинный привод, использующий энергию сжатого газа магистральных газопроводов при необходимости ее дросселирования. В последнем случае при больших объемах газа могут быть использованы хорошо отработанные лопастные турбины турбодетандеров, а в случае малорасходных трубопроводов (что присуще для ГРП средних и малых городов) могут быть использованы недавно созданные вихревые или струйно-реактивные турбины. Примером использования гидродинамического привода могут быть погружные скважинные насосы для добычи нефти или геотермальных вод, когда использование погружного электродвигателя для таких насосов невозможно или нецелесообразно.

Наконец, в качестве дополнительной (а иногда и основной) движущей силы в насосе могут быть использованы пандеромоторные силы – силы магнитного или электромагнитного происхождения. Очевидно, такая возможность имеется прежде всего для насосов, перекачивающих различные токопроводящие жидкости-электролиты (растворы солей кислот, щелочей и т.д.) или ферромагнитные жидкости. Однако пока такая возможность изучена очень слабо и в насосостроении практически не используется.

### ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА УРОВНЕ НАСОСА

В общем виде уменьшение энергопотребления отдельно взятого насоса при обеспечении им заданных параметров напора и расхода достигается за счёт повышения его КПД. Многолетний опыт исследований, разработок и производства насосов ведущими компаниями мира обеспечивает сегодня достаточно высокие значения этого показателя в оптимальном режиме в зависимости от удельной быстроходности. Поэтому ожидать каких-то существенных прорывов и, следовательно, снижения энергопотребления не приходится. Ориентировочно резервы повышения КПД можно оценивать в 2-3% для насосов с удельной быстроходностью  $n_s = 300-100$ , 3-5% – для  $n_s = 100-70$  и на 5-10% для  $n_s = 60-30$ . Причём, как показывает анализ балансов энергии, резервы повышения общего КПД кроются не столько в уменьшении гидравлических потерь (хотя они, конечно, имеются, особенно для высоких  $n_s$ ), сколько в объёмных и механических потерях (что особенно характерно для  $n_s = 60-30$ ).

Основной же резерв энергосбережения для лопастных насосов кроется в расширении рабочей зоны насоса, т.е. в обеспечении его работы в режимах недогрузки и перегрузки с КПД, незначительно отличающемся от оптимального режима.

На рис. 3. представлена типовая рабочая характеристика центробежного насоса, совмещенная с характеристикой сети.

На ней можно видеть четыре характерных нерасчётных режима работы насоса:

1. Работа с минимальным расходом на закрытую или приоткрытую задвижку. Возникает при запуске насоса.
2. Эксплуатация насоса левее рабочего диапазона: режим недогрузки. Возникает, как правило, при сопротивлении сети, большем расчетного. При этом в зоне 2.1 возможна кавитация, в зонах 2.2, 2.3 возникает рециркуляция потока на входе и выходе рабочего колеса. Как следствие – существенное снижение КПД.
3. Эксплуатация насоса в диапазоне подач правее рабочего диапазона – режим перегрузки. Возникает при меньшем, чем расчётное сопротивление сети. Характеризуется существенным ростом потребления энергии при уменьшении КПД.
4. Режим существенной перегрузки ( $Q = 1,5Q_{\text{опт}}$  и выше). Еще большее энергопотребление и еще большее снижение КПД. Перегрузка двигателя или комплектование насоса двигателем завышенной мощности.

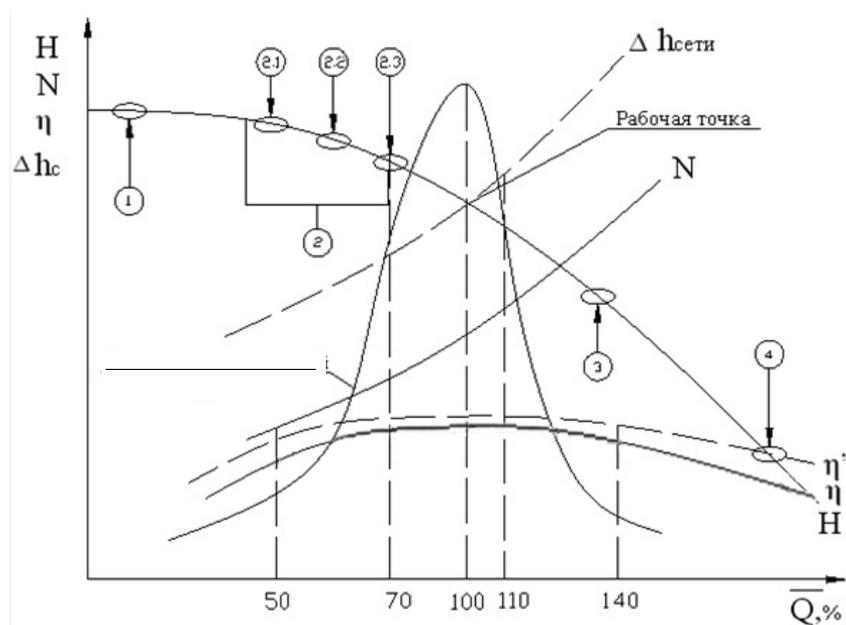


Рисунок 3 – Типовая рабочая характеристика центробежного насоса

Из рис. 3 также видно, что чем более пологий график КПД, тем более широкая зона благоприятной эксплуатации насоса. Поэтому помимо мер по повышению максимального КПД насоса (а это целый комплекс гидродинамических, конструктивных и технологических мер) следует за счёт дополнительных мер стремиться устранить или уменьшить вредные гидродинамические явления, приводящие к снижению КПД в зонах недогрузки и перегрузки. На рис. 3 такой путь снижения энергопотребления иллюстрирует пунктирная кривая и расширенная зона эксплуатационной надёжности.

Выполнению задачи снижения энергопотребления насоса будет также способствовать:

- 1) тщательный выбор оптимального типа насоса для конкретных условий (поршневой, винтовой, лопастной, вихревой и т.д.);
- 2) выбор оптимальной конструкции, удельной быстроходности, рабочих колёс, типов подвода и отвода, системы восприятия осевых сил, концевых и межступенных уплотнений;

3) более широкое применение сменных роторов, рабочих колёс и направляющих аппаратов для обеспечения эффективной эксплуатации базового насоса на нерасчётных режимах;

4) продолжение работы по совершенствованию проточных частей существующих насосов и созданию новых, более экономичных рабочих органов путём использования современных методов расчёта течения и экспериментальной отработки на базе тщательных балансовых испытаний;

5) более широкое использование идеи организации комбинированного рабочего процесса в одной ступени (например, центробежно-вихревого, осевихревого типа и т.п.), повышение за счет этого напорности ступени и корректировки формы рабочих характеристик (западание напорной характеристики на недогрузочных режимах, получение более пологой кривой КПД и т.п.);

6) более глубокое изучение возможности применения нетрадиционных лопастных решёток, особенно для колёс низкой и сверхнизкой удельной быстроходности (многоярусных решёток, щелевых лопастей, увеличенного числа лопастей и их углов  $\alpha_2$ , затыловка выходных кромок, варирование величиной циркуляции на входе в рабочее колесо, применение безлопаточного кольцевого отвода и перевода и т.п.);

7) организация гидродинамического разделения твердой и жидкой фазы перекачиваемой жидкости для защиты узких радиальных и осевых зазоров, в том числе защиты щелевых уплотнений от абразивного износа и создание опор вала со смазкой перекачиваемой жидкостью;

8) применение современных высокоизносостойких материалов, получаемых методом порошковой металлургии, СВС- и нанотехнологий, что позволит более широко применять щелевые уплотнения с плавающими кольцами, что особенно актуально для ступеней сверхнизкой быстроходности, а также повысит ресурс работы торцовых уплотнений и подшипников скольжения;

9) пересмотр стандартов в сторону ужесточения требований по КПД и эксплуатационным характеристикам насосов с целью придания директивности всем мерам по снижению энергопотребления насосным оборудованием и на этой основе обоснование необходимости увеличения финансирования НИР и ОКР.

### НАСОСНЫЙ АГРЕГАТ С СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Специалисты совершенно справедливо считают, и это находит отражение в программе Eurorump, что большая половина возможностей снижения энергопотребления насосным оборудованием кроется в согласовании рабочей характеристики насоса и сети. Другими словами, насос постоянно должен работать в режиме, близком к оптимальному.

К сожалению, многочисленные обследования насосных сетей, особенно на перерабатывающих предприятиях химической, нефтехимической, целлюлозно-бумажной, пищевой и др. промышленности, систем водоснабжения и водоотведения показывают, что даже изначально они были построены без учёта рабочей характеристики будущего насоса. В дальнейшем технологическая необходимость регулирования производительности или давления в сети лишь увеличивает разницу между рабочим режимом работы насоса и оптимальным. Да и сам способ регулирования путём открытия или закрытия задвижки не способствует уменьшению энергопотребления насоса. К тому же в абсолютном большинстве случаев такие сети комплектуются насосами с нерегулируемым электродвигателем завышенной мощности для обеспечения возможных перегрузочных режимов.

Покончить с таким бесхозяйственным энергопотреблением можно в основном путём комплектования насоса регулируемым по частоте вращения двигателем, а в техзадании на изготовление и поставку насосного агрегата потребителем должна быть отражена необходимая глубина регулирования.

В разделе 3, посвящённому приводным двигателям насосов, отмечалось, что сегодня уже есть возможность обеспечить электроприводной двигатель тиристорным преобразователем частоты тока в широком диапазоне мощностей и частот вращения. Еще большие возможности представляют вентильные и особенно вентильно-реактивные электродвигатели, специально приспособленные для условий эксплуатации насосов, работающих с переменной нагрузкой.

Поэтому в распоряжении создателей насосных агрегатов и эксплуатационников сегодня имеется возможность применять в сочетании с обычным электродвигателем тиристорный преобразователь частоты и обеспечить регулирование режимов работы насоса самым экономичным способом – изменением частоты вращения. А с применением вентильно-реактивных электродвигателей появляется возможность создания комплексных интеллектуальных систем управления на базе соответствующих датчиков, командоаппаратов и программного обеспечения. Причем, что особенно ценно, таким управлением и контролем можно будет обеспечить большую разветвлённую сеть, где на разных участках одновременно работают десятки различных насосов в параллельном и последовательном соединении.

Аналогично должна решаться задача регулирования работы насосов при других типах приводов, т.к. все типы турбинных приводов, дизельные или газопоршневые приводы допускают такое регулирование в определённых пределах, без заметного снижения собственного КПД.

Снижению энергопотребления насосными агрегатами будут содействовать и такие меры:

1. Оптимизация всей системы «насос-двигатель-сеть» по критерию КПД системы

$$\eta_{\text{сист}} = \frac{N_2}{N_1},$$

где  $N_1$  – энергия, забранная приводом насоса от источника энергии;

$N_2$  – энергия, затраченная на преодоление сопротивления сети.

2. Максимальная минимизация суммарного сопротивления сети при заданных параметрах  $Q$  и  $H = H_2 - H_1$ ,

где  $H_1$  – напор в начале сети;

$H_2$  – напор в конце сети, подразумевая, что напор – это полная удельная механическая энергия жидкости.

3. Повышение качества монтажа насосного агрегата и трубопроводной сети, качественное пуско-наладочное оборудование с постоянным контролем основных механических и энергетических параметров, в том числе режима работы насоса в назначенной по паспорту рабочей зоне;

4. Совершенствование технологических процессов, использующих насосное оборудование с целью уменьшения энергии, требуемой для транспортировки жидкости или её напора в конце трубопровода. Примером такого совершенствования может служить переход нефтяников на однострунную (мультифазную) технологию добычи нефти и газа [1], производство этилена и полиэтилена по новой технологии при значительно более низких давлениях, чем по старой технологии.

По мнению комиссии Егорупр, только за счёт этих мероприятий экономия потребляемой энергии может составить от 15 до 20%.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПУТИ СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НАСОСНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Общеизвестно, что наиболее успешный и перспективный путь решения той или иной инженерно-технической задачи – это настойчивое и смелое использование свежих, нетрадиционных предложений (разумеется, после всестороннего и глубокого научного анализа, теоретической и экспериментальной отработки), а также постоянный поиск новых идей в организации процесса энергопередачи от источника к потребителю – перекачиваемой жидкости.

В предыдущих разделах доклада уже упоминался ряд таких инновационных предложений:

- 1) комбинированный рабочий процесс;
- 2) приближение типа привода насоса к первичному, природному источнику энергии (напомним, что широкое использование для этих целей электроэнергетики не является хорошим примером общепланетарного потребления энергии, ибо всегда ей предшествуют 60-70% потерь первичной энергии от ископаемых энергоресурсов и известное тепловое и химическое загрязнение окружающей среды);
- 3) использование пандеромоторных сил как дополнительных для силового воздействия на перекачиваемую жидкость;
- 4) использование нетрадиционных лопастных решёток в рабочем колесе для повышения его напорности и безлопаточных отводов и переводных каналов для снижения потерь энергии в отводе;
- 5) широкое применение современных методов гидродинамического расчета течения жидкости в проточных частях насоса;
- 6) использование сменных роторов и рабочих органов для расширения области эффективного применения базового насоса;
- 7) комплектование насосного агрегата электродвигателями с частотным регулированием оборотов или вентильно-реактивными двигателями с интеллектуальными системами управления и контроля;
- 8) управление формой напорной характеристики (в режиме недогрузки и перегрузки) и крутизной характеристики КПД с целью расширения рабочей зоны насоса;
- 9) применение высокостойких современных материалов, получаемых методами порошковой металлургии, СВС, нанотехнологий;
- 10) применение газопоршневого двигателя внутреннего сгорания.

Следует отметить и некоторые совершенно экзотические, но принципиально возможные предложения:

- 1) пароструйный центробежный насос, использующий энергию струй пара, затопленных в саму перекачиваемую жидкость для раскрутки ротора с лопастными колёсами или раскрутки самой жидкости в кольцевой камере (безроторный вариант насоса);
- 2) жидкопоршневой насос, в котором в качестве поршня выступает вертикальный цилиндрический столб перекачиваемой жидкости, над свободной поверхностью которой сжигается газ, как в ДВС;
- 3) использование прямого преобразования электрической энергии в энергию давления жидкости (так называемого эффекта Юткина) для создания импульсного повышения давления с регулируемой частотой в объёме жидкости и организация её дальнейшего перемещения за счет этой энергии.

И подобный перечень можно продолжить. Многие из этих предложений нуждаются в серьёзном анализе, теоретической и экспериментальной проверке и отработке, некоторые из них являются просто «сырыми». Но каждое из них должно вызывать интерес, иметь право быть рассмотренным, потому что от каждого можно ожидать положительного эффекта. И только такой подход будет обеспечивать дальнейший прогресс в деле передачи энергии жидкости. Старые

конструкции и принципы, рождённые полтора-два столетия тому назад, можно только продолжать совершенствовать, вносить те или иные конструктивные изменения, но принципиальных, скачкообразных существенных улучшений ожидать не приходится.

### ВЫВОДЫ

Представленный поэлементный анализ возможности снижения энергопотребления насосным оборудованием показал, что:

1) потенциальные резервы для обеспечения к 2020 году снижения энергопотребления на 40% имеются;

2) успешная реализация этих возможностей станет возможной только при создании необходимых организационно-директивных, юридических и финансово-экономических условий, стимулирующих, поощряющих и заставляющих уменьшать энергопотребление насосным оборудованием;

3) названные выше резервы в основном базируются на уровне науки, инженерно-конструкторских достижений, опыте производителей и эксплуатационников, достигнутых в прежние десятилетия. Очевидно, базируясь на них, хоть и с трудом, но можно обеспечить выполнение поставленной задачи по снижению энергопотребления.

Но для обеспечения дальнейшего прогресса в насосостроении и его применении следует уже сейчас, не считаясь ни с какими затратами, резко увеличивать инвестиции в НИР и ОКР для поиска, исследований, подготовки к внедрению новых идей, принципов и механизмов в этой отрасли техники, так как на старом багаже продержаться достаточно долго в условиях возрастающей энергонапряженности в мире и её влияния на экологию не удастся.

### SUMMARY

#### WAYS OF REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION BY PUMP EQUIPMENT

*I.A. Kovalev, A.V. Ratushniy,  
Sumy State University, Sumy*

*The problem of reduction of energy consumption by pump equipment and hydraulic systems are presented in the paper. Elementary analysis of this problem shows possibilities of implementation of the Europump program.*

**Key words:** *energy consumption, pump equipment, hydraulic systems.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы V Международной конференции «СИНТ'09». – Воронеж: Научная книга, 2009. - 356 с.
2. Смирнов Ю. Вентильно-реактивные электроприводы в насосостроении / Ю. Смирнов // Энергетика и промышленность России. - 2005.
3. А.с. №840486 СССР от 13.09.1979 Вихревой насос / И.А. Ковалёв, В.В. Малюшенко.
4. Материалы VI Международной научно-технической конференции «СИНТ'09». – Воронеж, 2005.
5. Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Ecohump.ru'2009». – М., 2009.
6. Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Ecohump.ru'2006». – М., 2006.
7. Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Ecohump.ru'2005». – М., 2005.

*Поступила в редакцию 27 октября 2010 г.*