

**О НЕОБХОДИМОСТИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ РАБОЧИХ
ЖИДКОСТЕЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ДИНАМИЧЕСКИМ НАСОСАМ**

Н.З. Бойко,

Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск

В данной статье рассмотрена проблема очистки рабочих и смазывающих жидкостей динамических насосов на основании использования гидродинамического эффекта.

У даній статті розглянута проблема очищення робочих і змазувальних рідин динамічних насосів на основі використання гідродинамічного ефекту.

Насосы - один из наиболее распространенных видов технологического оборудования, применяемого во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства. На привод насосов используется до 20% электроэнергии, вырабатываемой в стране. Это один из значимых видов продукции машиностроительного комплекса Украины, поставляемой как для внутренних нужд, так и на экспорт. Поэтому повышение качества создания и эксплуатации насосов является актуальным направлением деятельности специалистов в области машиностроения и энергосбережения.

Согласно ГОСТ 17398-72 по принципу действия насосы делятся на объемные и динамические. В последнее время в насосах стал широко использоваться вихревой рабочий процесс, что привело к возникновению нового типа турбомашин – вихревых турбомашин [1], среди них значительное место занимают насосы вихревого принципа действия (вихревые, струйные, свободновихревые, лабиринтно-вихревые и др). Указанные насосы вихревого принципа действия конструктивно и по свойствам и составу перекачиваемых среди близких к вышеуказанным динамическим насосам. В связи с изложенным выше в данной статье под термином «динамические насосы» подразумевается совокупность насосов вихревого принципа действия и собственно динамических насосов по ГОСТ 17398-72.

В силу своих конструктивных особенностей объемные насосы и гидромашины системы на их основе (объемный гидропривод) являются особо чувствительными к загрязнениям рабочей жидкости [2]. Поэтому именно в приложении к объемным гидромашинам в первую очередь развивались средства очистки рабочих жидкостей [3]. Применительно к динамическим насосам данная проблема также решалась – здесь можно отметить попытки создать входные фильтры для питательных насосов тепловой [4] и атомной [5] энергетик, а также создание общей станции очистки для систем поддержания пластового давления (ППД) на нефтяных месторождениях [5]. Следует также сказать, что всегда внимание уделялось проблеме очистки смазывающей и запирающей жидкостей для опорно-уплотнительных узлов динамических насосов, наибольшее распространение получило использование малогабаритных гидроциклонов и центробежных фильтров. Отдельно, по отношению к динамическим насосам, следует говорить о необходимости защиты от износа щелевых уплотнений, определяющих срок службы, надежность и экономичность в работе динамических насосов [7].

С учетом сказанного можно констатировать факт – разработка средств очистки рабочих жидкостей по отношению к объемным гидромашинам определила практику таких разработок применительно к динамическим насосам.

Укажем на новые разработки, которые целесообразно использовать при создании и эксплуатации динамических насосов. Прежде всего это касается нового класса фильтрующих устройств, принцип действия которых основан на так называемом гидродинамическом эффекте, выявленном и обоснованном проф. Финкельштейном З.Л. [3]. Суть указанного эффекта сводится к следующему – возможно создать условия, при которых через ячейки поверхностного фильтроэлемента будут проходить частицы, размер которых существенно меньше размеров ячеек «в свету». Эти условия создаются в гидродинамических фильтрах за счет организации участия частицы в двух движениях: вдоль поверхности фильтроэлемента (продольная скорость частицы потока V_{np}) и параллельно оси ячейки (скорость поперечного потока V_o). Схема гидродинамического фильтрования представлена на рис. 1 [3].

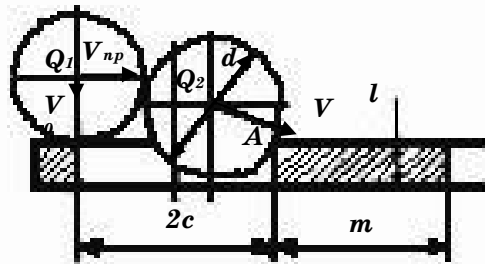


Рисунок 1 - Схема гидродинамического фильтрования:
 c - радиус ячейки; m - кратчайшее расстояние между ячейками;
 d - диаметр частицы; V_{np} - скорость продольного потока; V_o - скорость поперечного потока; V - скорость центра тяжести частицы;
 l - толщина фильтрующего материала

Ориентируясь на представленную схему гидродинамического фильтра (рис.1), укажем [3], что «если результирующая скорость центра тяжести Q_1 частицы направлена в момент соприкосновения со стенкой ячейки таким образом, что линия действия этой результирующей пройдет выше точки А, то возникнет момент, вырывающий частицу из ячейки, если же линия действия скорости будет ниже точки А – частица пройдет через фильтроэлемент. Таким образом? имеется возможность отделения частиц, диаметр которых меньше размеров ячейки».

Другими словами, создавать фильтры с теми или иными производственно – технологическими показателями (массогабаритные характеристики и другие) или эксплуатационными показателями (соотношение величин – основного и сбрасываемого потоков, срабатываемый перепад давления на фильтре и другие) можно изменяя состав и величины сил, действующих на частицу. В настоящее время создана большая группа разных конструкций фильтров, использующих описанный гидродинамический эффект, – специалистами Донбасского государственного технического университета, где ведутся длительное время систематические исследования в данном направлении, данная группа технических устройств названа очистителями рабочих гидросмесей, основанных на электрогидравлических технологиях. Среди них можно отметить работы: создание дополнительного воздействия на частицы введением подвижности (вращения) фильтроэлемента [8], введением закрутки потока с внешней стороны фильтроэлемента [9], введением электрического [10] или магнитного [11] полей. При разных комбинациях используемых сил воздействия на частицы мы получаем фильтры с разными показателями их качества, что позволяет подобрать

их для разных условий эксплуатации и использования в технических устройствах других конструктивных исполнений и назначений, например, в динамических насосах.

Прежде всего целесообразно вернуться к проблеме создания входных фильтров. Рассмотрим ее применительно к системам поддержания пластового давления (ППД) на нефтяных месторождениях, оснащаемых насосами типа ЦНС – 180 [6]. Как правило, на станциях ППД содержится 2 работающих насоса типа ЦНС – 180. Отсюда и необходимость [6] в четырех постоянно работающих фильтрационных колоннах, оснащенных гидродинамическими фильтрами плюс еще одна колонна – резерв. На сегодня опыт ДонГТУ показывает, что ограничения по максимальной производительности можно с гидродинамических фильтров снять. Нами проведены с использованием данных [3, 12] расчеты гидродинамического фильтра на подачу $200\text{ м}^3/\text{час}$ (по входу) и получены следующие результаты:

- количество сливаемой воды – $15\text{ м}^3/\text{час}$;
- остаточная крупность загрязнений не более 0,5 мм;
- перепад давления не более 0,5 атм;
- габаритные параметры (высота x ширина x длина, мм) – $1200 \times 660 \times 1160$.

Укажем, что на сегодня в гидродинамических фильтрах несложно получается очистка до максимальной крупности частиц 25 мкм. Кроме того, величина начального давления в фильтре определяется только прочностью его корпусных деталей и можно ставить вопрос об улучшении других из указанных эксплуатационных показателей качества работы гидродинамических фильтров. Так, ориентируясь на работу [9] можно ожидать, что закрутка потока в кольцевой области фильтра позволяет уменьшить сброс жидкости в 2-3 раза от общего расхода через фильтр. С учетом изложенного можно утверждать, что создание комплексной системы очистки жидкости для систем ППД нефтяных месторождений является для потребителей технико-экономической задачей – необходимо сравнивать два варианта: один – общая одна система, второй – два гидродинамических фильтра (основной и резервный), а также осадительная колонна. Для производителей динамических насосов целесообразно включать в комплект поставок насосного агрегата также входной гидродинамический фильтр. При этом целесообразно разработать типоразмерный ряд таких фильтров, чтобы они были однотипны (взаимозаменяемы) для: энергетических насосов; насосов нефтегазового комплекса; насосов общепромышленного назначения; насосов шахтного водоотлива [13] и других.

Укажем еще на два обстоятельства, которые необходимо учитывать при создании систем очистки рабочей жидкости на входе в динамические насосы. Первое – осадительная колонна. Можно ориентироваться на осадительную колонну, успешно эксплуатируемую на Анастасьевском месторождении Ахтырского НГДУ на протяжении четырех лет, разработанную в Сумском государственном университете (автор – Соляник В.А.). Следует также учесть имеющиеся достаточно успешные наработки ДонГТУ (г. Алчевск) в этом направлении.

Второй вопрос – наличие срабатываемого перепада давления на фильтре, что может существенно повлиять на антикавитационные качества защищаемого динамического насоса. Здесь мы имеем дополнительное преимущество гидродинамических фильтров. Все традиционные фильтры высокой пропускной способности (десятки тысяч $\text{м}^3/\text{час}$) имеют сопротивление как минимум 0,2 - 0,3 МПа. Использование гидродинамической очистки позволяет создавать очистители любой производительности с малым сопротивлением (0,01 - 0,02 МПа). Вместе с тем проблема остается и нам представляется, что ее решение можно

искать на пути указанном в [14] «... эффект эжекции, создаваемой в таком уплотнении (с наклонным козырьком – Н.Б.) потоком протечек, повышает давление на входе в колесо, устраняя западание характеристики и улучшая антикавитационные качества ступени».

На рис. 2 предложена принципиальная схема всасывающего устройства с рециркуляцией части нагнетаемого потока с целью повышения давления всасывания.

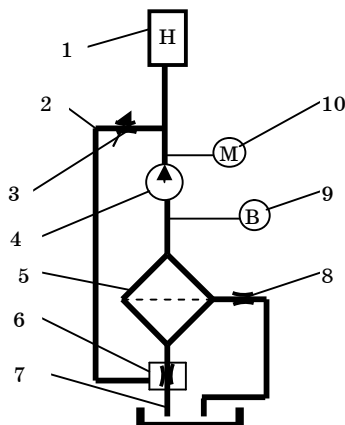


Рисунок 2 - Принципиальная схема всасывающего устройства с рециркуляцией части нагнетаемого потока:

- 1 - потребитель; 2 - обводной трубопровод; 3 - дроссель-вентиль;
- 4 - насос; 5 - очиститель;
- 6 - струйный насос;
- 7 - всасывающий трубопровод;
- 8 - дроссель; 9 - мановакуумметр;
- 10 - манометр

Эффективность предлагаемого устройства можно оценить по данным работы [14]. Ниже приводится заимствованная из [14] таблица 1, отображающая показатели установок с гидроструйными насосами для повышения кавитационного запаса динамических насосов.

Изложенное выше нам представляется достаточным обоснованием для положительного решения вопроса о целесообразности использования гидродинамических фильтров в качестве входных фильтрующих устройств динамических насосов. Обратимся далее ко второй проблеме, имеющей с нашей точки зрения прямое отношение к рассматриваемому вопросу, – вопрос об очистке смазывающих и запирающих жидкостей, используемых применительно к опорно-уплотнительным узлам динамических насосов.

Таблица 1 - Показатели установок с гидроструйными насосами для повышения надкавитационного напора лопастных насосов

Относительное повышение надкавитационного напора $\frac{\Delta h}{H_{нас}}$	Относительный расход жидкости на работу струйного насоса $\frac{Q}{Q_{нас}}$	Относительный полезный расход агрегата $\frac{Q_{пол}}{Q_{нас}}$	Гидравлический КПД η_e	Параметр струйного насоса $\frac{d_2}{d_c}$
0,0126	0,09	0,91	0,920	8,5
0,0155	0,1	0,9	0,917	7,6
0,0183	0,11	0,89	0,901	7,1
0,0215	0,12	0,88	0,900	6,6
0,0256	0,13	0,87	0,888	5,9
0,0283	0,14	0,86	0,880	5,6
0,0315	0,15	0,85	0,878	5,4
0,0352	0,16	0,84	0,870	5,1
0,0395	0,17	0,83	0,860	4,8
0,0450	0,18	0,82	0,852	4,5
0,0526	0,20	0,80	0,843	4,2
0,0605	0,22	0,78	0,830	3,8
0,0710	0,24	0,76	0,816	3,5
0,0850	0,26	0,74	0,800	3,3
0,1050	0,29	0,71	0,780	3,1

Применительно ко входным фильтрам насосов мы выше вели речь только об так называемых полнопоточных очистителях, в которых очищается вся перекачиваемая жидкость. Применительно к охлаждающим и смазывающим жидкостям целесообразно говорить о неполнопоточных очистителях, в которых очищается с высокой степенью точности только часть жидкости, непосредственно проходящая через дроссельные зазоры в опорах и уплотнениях, а также подающаяся в другие вспомогательные устройства. Схематично неполнопоточный фильтр представлен на рис.3.

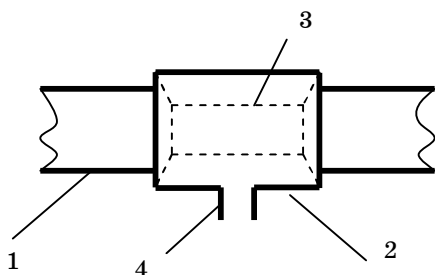


Рисунок 3 - Схема неполнопоточного фильтра

Устанавливается очиститель в линии нагнетания соответствующей жидкости. Как показано на рис.3 схематично фильтр представляет собой вставку в трубопровод 1, имеющую ответвление 4 на трубку, в которую поступает жидкость с высокими требованиями к чистоте рабочей жидкости. Вставка состоит из фильтрующего сетчатого цилиндра 3 и корпуса вставки 2. При включении вентиля подачи очищаемой жидкости часть поступает по трубопроводу 4, очищаясь перегородкой 3. Хотя крупность ячеек в этой перегородке невелика, засорение ее не происходит, т.к. крупные частицы уносятся основным потоком. Для увеличения скорости последнего диаметр фильтрующего цилиндра выполняется меньшим, чем диаметр трубопровода. Такая схема применима, если на очистку расходуются жидкости значительно меньше, чем ее протекает по трубопроводу 1.

Нами произведены расчеты очистителя, работающего по вышеописанной схеме. Согласно результатам выполненных расчетов получено следующее: насос производительностью $Q = 180 \text{ м}^3 / \text{час}$, на очистку поступает (Q_1) 5% от производительности насоса; тонкость очистки $d = 20 \text{ мкм}$. Диаметр перфорированной перегородки $D = 100 \text{ мм}$. Применяем в качестве перегородки сетку с размерами ячейки в свету $0,5 \times 0,5 \text{ мм}$ и толщиной проволоки $0,3 \text{ мм}$.

Согласно выполненным расчетам для выполнения вышеуказанных условий необходима длина вставки около $L \cong 150 \text{ мм}$, при этом снижение перепада давления на фильтре равно $\Delta P = 0,02 \text{ МПа}$. Уменьшение указанного перепада давления можно произвести увеличением длины вставки.

Опыт показал, что для гидродинамических фильтров без использования дополнительной энергии надежно получаемая постоянная крупность частиц 25 мкм . В то же время во многих случаях, при наличии продуктов изнашивания, в первую очередь ферромагнитных частиц, такая тонкость очистки является недостаточной. Работами профессора С.В.Горобец [16] было доказано, что вокруг ферромагнитной частицы достаточно малого размера, находящейся в магнитном поле, возникает возбужденное магнитное поле, которое в 10^7 раз больше, чем возбуждающее его. При этом диапарамагнетики притягиваются к ферромагнитной частице малого размера и сами по себе могут быть причиной интенсивного изнашивания оборудования. По нашему мнению в данном случае требуется применение комплексной очистки с использованием электромагнитных фильтров, разработанных на базе электрогидравлических технологий, где позволит в несколько раз

поднять надежность и долговечность оборудования, работающего с жидкостями, обогащенными продуктами изнашивания. Учитывая теорию и испытания электромагнитных фильтров со сложным магнитным полем и с бегущей электромагнитной волной, можно рекомендовать следующие схемы.

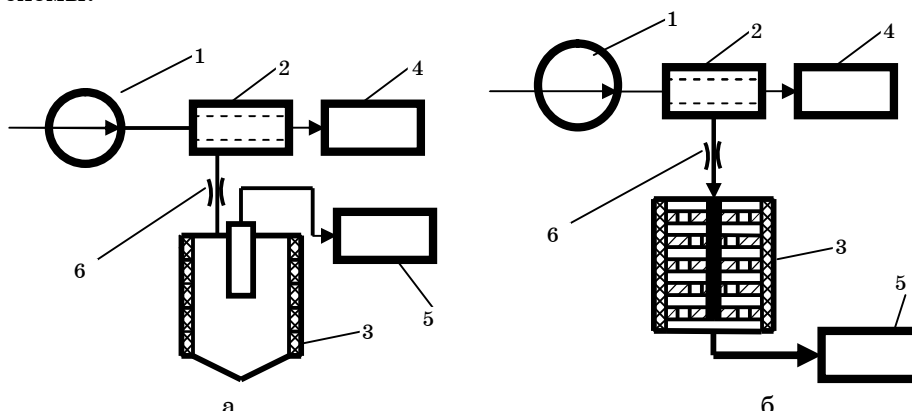


Рисунок 4 - Схема неполнопоточной очистки жидкостей с использованием электрогидравлических технологий

(а – для маловязких жидкостей; б – для жидкостей средней вязкости):
 1 – насос; 2 – гидродинамический фильтр; 3 – электромагнитный фильтр;
 4 – потребитель жидкости без очистки; 5 – потребитель очищенной
 жидкости; 6 – дроссель

Следует сказать еще об одном подходе к защите щелевых уплотнений от твердых включений с помощью гидродинамического эффекта. Движение жидкости (утечки) в щелевых уплотнениях динамических насосов бывает двух видов течения - в пазухе рабочего колеса происходит от периферии (наружный диаметр рабочего колеса) к центру (ось вала) и наоборот. В случае, если указанное движение происходит от центра к периферии на входе в щелевое уплотнение, формируется течение, характерное для гидродинамических фильтров – существует основной поток, проходящий в рабочее колесо (продольная скорость) и дополнительный поток через щелевое уплотнение (поперечная скорость). Очевидно, что можно ставить задачу использования гидродинамического эффекта «наоборот» – создавать условия, чтобы твердые частицы не попадали в щелевые уплотнения (в фильтре мы их «заставляем» проходить через ячейку сетки, по отношению к щелевому уплотнению надо сделать наоборот). Для примера известно [17], что межступенчатая утечка в межступенчатых центробежных насосах происходит именно в направлении от центра к периферии.

В работах [18, 19] исследовались проточные части современных грунтовых насосов, в том числе было обращено внимание на сложные формы переднего уплотнения рабочего колеса, а также наличие специальных выступов на наружных поверхностях рабочего колеса. Как оказалось [20], указанные особенности проточной части грунтовых насосов обеспечивают движение жидкости в пазухах рабочего колеса от центра к периферии.

Соответственно в работе [18] впервые было высказано предположение, что данное техническое решение связано с поиском способа защиты переднего уплотнения рабочего колеса от износа за счет использования гидродинамического эффекта.

В заключении по этому вопросу укажем, что здесь мы имеем дело с многофакторной оптимизационной задачей. Очевидно, что усложнение конструкций пазух рабочего колеса приведет к изменению КПД насосной ступени, известно также [7], что изменение геометрии и картины течения

в целевом уплотнении существенным образом влияет на вибронадежность насоса и наконец известно [21], что изменение картины течения в пазухах рабочего колеса ведет к изменению осевой силы, действующей на ротор насоса.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что сознательное использование явления гидродинамического эффекта в динамических насосах может быть существенным фактором для улучшения их технико-экономических показателей.

SUMMARY

ABOUT NECESSITY AND EXPEDIENCY OF USE OF ELECTROHYDRAULIC TECHNOLOGIES OF CLEARING OF WORKING LIQUIDS WITH REFERENCE TO DYNAMIC PUMPS

N.Z. Boiko

Donetsk Basin State Technical University

In given article it is considered a problem of clearing of working and greasing liquids of dynamic pumps on the basis of use of hydrodynamic effect.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Євтушенко А.О. Гідродинамічні машини і передачі: Навчальний посібник.- Суми: Вид-во СумДУ, 2005 – 255с.
2. Финкельштейн З.Л. Эксплуатация гидравлического оборудования. Учеб.пособие – Алчевск, ДонГТУ, 2008. – 123с.
3. Финкельштейн З.Л. Применение и очистка рабочих гидросмесей для горных машин. – Л.: Надра – 232с.
4. Малюшенко В.В., Михайлов А.К. Насосное оборудование тепловых электростанций. - М.: Энергия, 1975. - 280с.
5. Марцинковский В.А., Ворона Л.Н, Насосы атомных электростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 256 с.
6. Финкельштейн З.Л., Твердохлеб И.Б., Лилак Р.Н. Повышение качества работы динамических насосов системы ППД месторождений // Вестник НТУУ КПИ: Машиностроение. – 1999. – Вып. 34. - С.342-345.
7. Марцинковский В.А. Щелевые уплотнения: теория и практика. – Сумы: Изд-во СумГУ, 2005. – 416с.
8. Аль-Хавалдех Абдалла Сулейман. Исследование и разработка гидродинамических очистителей моторных масел. Автореф. дисс.... канд.техн.наук. - Сумы, 2001. - 20с.
9. Бревнов А.А. Совершенствование гидродинамических фильтров за сет закрутки потока в целевой области пазухи фильтроэлемента. Автореф. дисс.... канд.техн.наук.- Сумы, 2009. - 20с.
10. Ямкова М.А. Гідродинамічні основи методики розрахунку електромагнітних очисників. Автореф. дисс.... канд.техн.наук. – Київ, 2000. – 20 с.
11. Бойко Н.З., Евтушенко А.А. Электродинамические методы очистки жидкости от ферромагнитных частиц // Вестник Восточноукраинского национального университета им.В.Далы. -2007. - №3(109), Ч.2. – С.34-37.
12. Финкельштейн З.Л. Расчет гидродинамических фильтров. (в кн.: Гидравлика и пневматика. Приводы и системы управления). – 1979. -Вып. 7. - С.232-240.
13. Финкельштейн З.Л. Швиндин А.И., Твердохлеб И.Б. Состояние и перспективы насосного оборудования для шахтного водоотлива // Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение. – 1999. - Вып. 35. - С.257-261.
14. Боровский Б.И. Энергетические параметры и характеристики высокооборотных лопастных насосов. – М. Машиностроение, 1989 – 183с.
15. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки. - Л.: Машиностроение, 1989. - 256с.
16. Горобец С.В. Зависимость эффективности коагуляции ферромагнитных и неферромагнитных примесей в магнитном поле от параметров фильтров, рабочих жидкостей и примесных частиц // Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1991. - № 1-3. - С.133-137.
17. Михайлов А.К., Малюшенко В.В. Конструкции и расчет центробежных насосов высокого давления – М.: Машиностроение, 1971. – 304 с.
18. Яхненко С.М. Гидродинамические аспекты блочно-модульного конструирования динамических насосов. Автореф. дисс.. канд.техн.наук. - Сумы, 2003.- 20 с.
19. Колисниченко Э.В. Рабочий процесс динамических насосов нетрадиционных конструктивных схем на газожидкостных смесях. Автореф. дисс.... канд.техн.наук. - Сумы, 2007. - 20с.
20. Алексенко О.В., Евтушенко А.А., Яхненко С.М. Насосный эффект дисков рабочего колеса центробежного насоса. НТУУ «КПИ» Технология и техника издательства // Сб. наук-пр. - Киев, 2004. - Вып. 2-3(4-5). - С.88-93.
21. Байбииков А.С., Караханьян В.К. Гидродинамика вспомогательных трактов лопастных машин. – М.: Машиностроение, 1982. – 112 с.

Поступила в редакцию 3 марта 2009 г.