

УДК 621.65.053-762-82(476)

С. П. Субботин, канд. техн. наук

РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА НИОКР ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ НАСОСОВ ТИПА ГДМ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛЕЙ

Изложена краткая история создания, развития и становления компании.

На базе пионерных решений разработаны конструкции герметичных насосов с приводом через магнитную муфту, превосходящую по своим параметрам и характеристикам лучшие мировые образцы. Освоена производством компании широкая номенклатура насосных агрегатов. Даны предложения по сотрудничеству для создания экологических насосных станций с приводом от моторов, работающих на попутных газах.

Компания «Гидродинамика» основана в 1993 г. группой специалистов Института ядерной энергетики академии наук Белоруссии, имевших многолетний опыт проектирования и изготовления насосов для ядерных энергетических установок.

Опираясь на имевшийся опыт, руководством компании первоначально была разработана базовая концепция, определившая техническую политику развития компании и конструктивную схему насосных агрегатов.

Наиболее перспективным направлением была признана разработка и изготовление герметичных, динамических агрегатов горизонтального и полупогружного исполнения с приводом ротора через синхронную магнитную муфту от серийно выпускаемых электродвигателей мощностью первоначально от 5 до 250 кВт, затем – до 400; 500 и 630 кВт.

Концепция с учетом реальной экономической ситуации 90-х гг. ориентировала на создание собственной производственной базы, минимальную кооперацию, максимальную гибкость, а также жесткие сроки проектирования и изготовления насосных агрегатов под требования конкретного заказчика (не более 90 дней).

Время полностью подтвердило правильность выбранных ориентиров. С учетом постоянного ужесточения экологических требований, требований к условиям труда обслуживающего пер-

сонала и безопасности работ герметичные насосы становятся все более востребованными.

Начав с работы на арендованном оборудовании и на арендованных площадях, проводя политику жесткой экономии, при которой вся прибыль инвестировалась в развитие производства, компания сегодня имеет собственную производственную базу общей площадью более 7000 м² с комплексом производственного и испытательного оборудования, собственным конструкторским и технологическим бюро, оснащенных современным компьютерным оборудованием.

Производственная база компании имеет достаточный набор оборудования для выполнения всех технологических операций по изготовлению насосных агрегатов от порезки металла на заготовки, термообработки, штамповки, сварки, в том числе титановых сплавов и нержавеющей сталей, до точной механической обработки и динамической балансировки роторных деталей насосных агрегатов. Освоены также технологии изготовления качественных резинотехнических изделий, подшипников скольжения и упорных пят насосных агрегатов из карбида кремния. Примечательно, что для шлифовки деталей применяется алмазный инструмент исключительно белорусского производства. Технология обработки является «ноу-хау» ЗАО «Гидродинамика». Имеется аттестованное оборудова-

ние для проведения необходимых лабораторных исследований, прочностных и функциональных испытаний насосных агрегатов.

Насосные агрегаты компании (тип ГДМ) обеспечивают перекачивание таких продуктов, как стабильный газовый конденсат, нефть и нефтепродукты, диэтиленгликоль, аммиак, ШФЛУ, вода и водометанольная смесь, бензин, дизельное топливо с расходами от 5 до 1250 м³/ч при напорах от 30 до 1000 м, для чего разработано более 60 моделей горизонтальных насосов, своими техническими параметрами равномерно охватывающих указанный диапазон.

Для откачки жидкостей из цистерн

и технологических емкостей разработан и освоен выпуск более 20 моделей полупогружных агрегатов, обеспечивающих при глубине погружения от 2,7 до 6,2 м работу с подачами от 10 до 200 м³/ч и напорами до 350 м.

Для вращения роторов насосных агрегатов типа ГДМ используются герметичные магнитные муфты с разделительным экраном. Применение в приводе насоса магнитной муфты исключает выход приводного вала за пределы прочной части насоса и необходимость уплотнения вращающегося вала сальниковыми или торцовыми уплотнениями, не исключающими протечек перекачиваемого продукта (рис. 1).

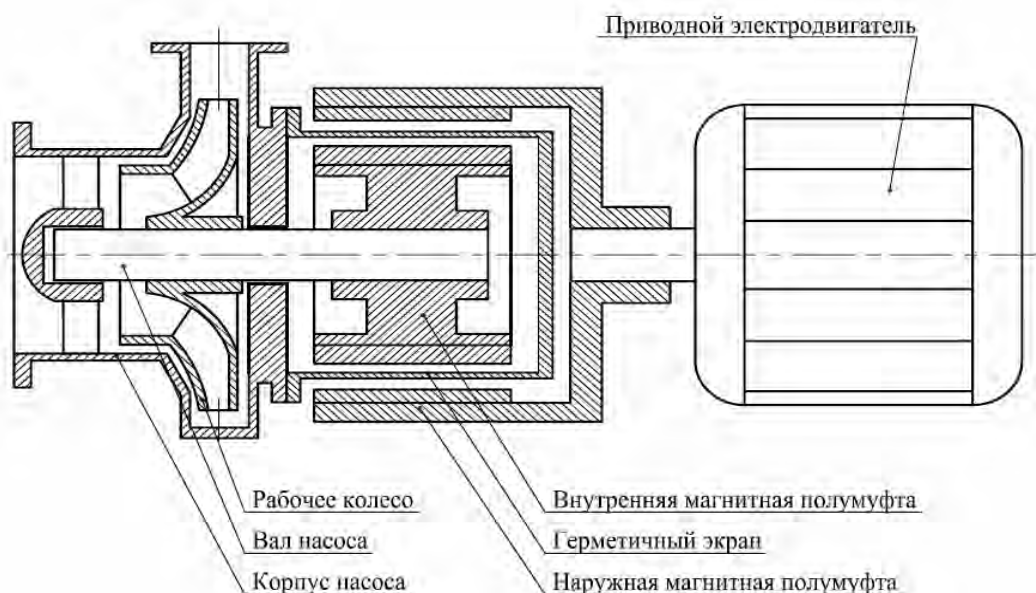


Рис. 1. Схема насосного агрегата с магнитной муфтой

Как видно из схемы, мощность от электродвигателя передается на насос через магнитную муфту, которая посредством магнитных сил приводит во вращение ротор насоса. Магнитная муфта состоит из наружной полумуфты, соединенной с приводным электродвигателем, внутренней полумуфты, соединенной с ротором насоса, и разделительного экрана, обеспечивающего герметизацию проточной полости агрегата.

Разработанный и доведенный ряд магнитных муфт обеспечивает в насосных агрегатах типа ГДМ передачу на ротор насоса до 630 кВт мощности от взрывозащищенных электродвигателей.

В связи с вышесказанным представляет интерес магнитная реактивная переменного-полюсная муфта (рис. 2). Ее ротор выполнен из магнитомягкого материала и имеет выступы, взаимодействующие с полюсами магнитной систе-

мы наружной муфты. Магниты установлены только на наружной муфте. Для увеличения количества магнитов, установленных по окружности, и соответственно повышения передаваемого крутящего момента конструкция данной муфты отличается от обычных. Полюса наружной полумуфты выполнены в виде клиньев из магнитомягкого материала. Между полюсами установлены магниты, причем к полюсу примыкают два магнита одноименными полюсами. К

третьей стороне полюса примыкает еще один магнит, причем тем же полюсом, что и два магнита, расположенные по окружности. Второй полюс этого магнита примыкает к кольцевому магнитопроводу, служащему корпусом муфты. Таким образом, поток внутри полюса создается одновременно тремя магнитами, чем достигается высокая индукция в зазоре и большая сила взаимодействия между наружной и внутренней полумуфтами.

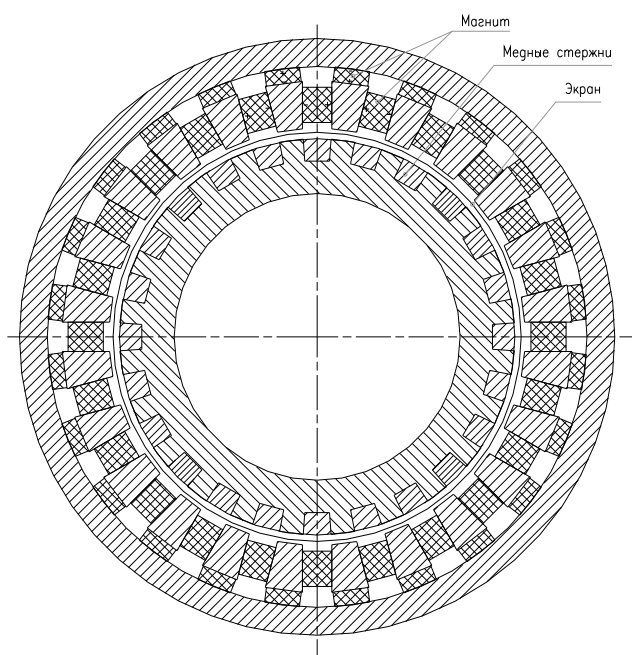


Рис. 2. Реактивная переменнo-полюсная магнитная муфта

Для повышения пусковых характеристик на внутренней полумуфте между выступами уложены немагнитные электропроводные стержни. По торцам муфты стержни объединяются кольцом и образуют замкнутую электрическую систему типа «беличьей клетки», аналогичную ротору асинхронного двигателя.

Муфта работает следующим образом. При пуске начинает поворачиваться наружная полумуфта относительно внутренней. Из-за взаимного смещения магнитных полюсов изменяется магнитный поток через них, возникают

тангенциальные магнитные силы притяжения между полюсами. Также из-за изменения магнитного потока в стержнях «беличьей клетки» появляется электрический ток, поле которого взаимодействует с полем наружной полумуфты и увеличивает крутящий момент. После разгона действуют только магнитные силы, вызванные постоянным смещением полюсов. При случайном превышении этих сил во время работы появляется проскальзывание между полумуфтами и резко увеличивается крутящий момент за счет сил «беличьей

клетки». При восстановлении нормальной работы насоса скорости вращения полумуфт выравниваются.

Разработана программа, не имеющая аналогов для расчета переменноплюсной реактивной муфты с тангенциальными и радиальными магнитами.

О габаритах, применяемых в наших насосах магнитных муфт, можно судить по следующим размерам. Для насосов с мощностью электропривода от 300 до 600 кВт диаметр муфты достигает 220 мм при ее длине до 200 мм. Насосы с мощностью привода до 300 кВт требуют муфты с размерами около 130 и 150 мм.

Обращаясь к себестоимости указанных конструктивов, можно привести следующие данные: муфты, указанные первыми, имеют цену примерно 4 тыс. белорус. р., вторыми – до 20 тыс. белорус. р.

Представленная схема насосных агрегатов ЗАО «Гидродинамика» по сравнению с герметичными насосами на основе встроенных электродвигателей специальной конструкции имеет более простую, гибкую, пригодную для ремонтов в эксплуатационных условиях конструкцию и позволяет применять относительно дешевые и экономичные стандартные приводные электродвигатели и легко их заменять при ремонтах.

Появлению работоспособной конструкции магнитной муфты, передающей большие мощности, предшествовала немалая научная и конструкторская работа по оптимизации параметров элементов магнитной муфты, подбору магнитов по геометрическим размерам и характеристикам магнитных материалов.

Решение на первый взгляд элементарной задачи по защите от коррозионного разрушения магнитов на основе неодим-железа-бора, происходившего на первоначальных конструкциях муфт, потребовало не только менять поставщиков магнитов, но и кардинальным образом корректировать конструкцию и технологию изготовления магнитных

полумуфт. В новых муфтах защита от коррозии магнитов обеспечивается трехслойным гальваническим покрытием магнитов специальными защитными обечайками, изолирующими их от перекачиваемого продукта, и технологией изготовления.

Отработанная методика расчета магнитных муфт, проверенная экспериментальными исследованиями, позволяет проектировать магнитные муфты для различных температурных условий (от -50 до $+250$ °С) и на различные мощности с ограниченным количеством типоразмеров применяемых магнитов и марок магнитных материалов.

В процессе доводки магнитного блока выявились довольно значительные осевые силы, возникающие между внутренней и наружной полумуфтой. Недооценка этих сил и непринятие конструктивных мер по их минимизации оказывают существенное влияние на баланс осевых сил и нагруженность упорных пят.

Одним из основных элементов магнитной муфты является разделительный экран, обеспечивающий герметизацию проточной части насосного агрегата и циркуляцию части перекачиваемого продукта для охлаждения магнитной муфты. Конструктивной и технологической доводке этого элемента постоянно уделяется много внимания.

Для уменьшения потерь в экране компанией проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по подбору новых видов материалов. Созданный опытный тонкостенный экран из неметаллического материала выдерживает внутреннее давление до 6 МПа и температуру до 100 °С.

Начав с точеных экранов из нержавеющей стали, сегодня мы изготавливаем и применяем тонкостенные экраны из титановых сплавов, выдерживающие давление до 8,0 МПа, что позволяет существенно повысить допустимое давление на входе в насос и надежность агрегата во внештатных ситуациях. Потери в магнит-

ной муфте при этом не превышают 8 %.

Для исключения случаев повреждения экрана абразивными магнитными примесями, содержащимися в перекачиваемых продуктах, были проведены ОКР по оптимизации потока перекачиваемого продукта под экраном и снижению концентрации примесей в опасных зонах.

Учитывая принятые сроки проектирования и изготовления агрегатов под требования заказчика, мы были вынуждены освоить изготовление сварных вариантов центробежных насосных колес и направляющих аппаратов, значительно превосходящих по чистоте рабочих поверхностей, остаточному дисбалансу и другим показателям литые колеса. Помимо этого, при большой номенклатуре колес и мелкосерийном производстве эта технология значительно сокращает сроки подготовки производства и уменьшает трудоемкость изготовления колес.

Принятая схема герметичных насосных агрегатов однозначно определила применение подшипников и упорных пят, смазывающихся только перекачиваемым продуктом. Наиболее приемлемым материалом для большинства перекачиваемых продуктов по совокупности свойств является карбид кремния. Карбид кремния, по сравнению с применяемым ранее силицированным графитом, имеет целый ряд преимуществ в части надежности, долговечности и стойкости в условиях абразивного износа. Однако механическая обработка этого материала, имеющего твердость, близкую к твердости натурального алмаза, представляет определенную сложность. Мы одними из первых в СНГ начали обрабатывать карбид кремния с применением на предварительной обработке операции точения специальными резцами, разработанными белорусскими учеными, что существенно снизило трудоемкость предварительных операций.

Одной из типичных проблем при эксплуатации герметичных насосных агрегатов отечественных и зарубежных фирм являются отказы и интенсивный износ подшипников и упорных пят, обу-

словленные несоответствием перекачиваемых продуктов требованиям эксплуатационной документации в части содержания в них механических и ферромагнитных примесей. Особенно часто такие отказы происходят при установке насосных агрегатов на новые трубопроводы и технологические установки.

Учитывая неизбежность таких проблем при существующем уровне эксплуатации насосных агрегатов, мы вынуждены были разработать специальный магнитно-сетчатый фильтр, который позволяет обеспечить очистку части перекачиваемого продукта, используемого для смазки подшипников скольжения и охлаждения магнитной муфты, от ферромагнитных примесей.

Этот фильтр обеспечивает тонкость фильтрации частиц 60 мкм при расходе до 6 м³/ч и работает при давлении на входе до 5 МПа. Применение фильтра позволило резко сократить число отказов при работе насосов на продуктах, несоответствующих по наличию примесей требованиям эксплуатационной документации на насосные агрегаты, и существенно сократить ставшими почти привычными затраты на ремонт насосов, установленных на новых, недостаточно хорошо очищенных трубопроводах. Насосные агрегаты ГДМ8-03 (подача 125 м³/ч, напор 700 м, мощность 400 кВт) с такими фильтрами отработали на перекачивании нефти в ОАО «РИТЭК» более 10 000 ч без отказов и практически без износа подшипников скольжения и упорных пят.

Кроме технического уровня, закладываемого при конструировании, на надежность и фактический технический уровень насосных агрегатов существенно влияет и организация производства от закупки материалов и комплектующих изделий до приемки и испытания готовой продукции. Постоянное внимание к организационным вопросам позволило нам сертифицировать сложившуюся организацию работ по проектированию и изготовлению насосных аг-

регатов на соответствие требованиям ИСО 9001-2000 в 2004 г.

Четкая организация и управление всеми звеньями позволяет обеспечивать стабильное качество продукции в непростых «рыночных» условиях.

Так, при закупке материалов и комплектующих выявили печальные реалии, образовавшиеся в последнее время в сфере материально-технического снабжения. Закупка небольшими компаниями металлопроката и подшипников качения через многочисленных дилеров и посредников существенно снизила как качество закупаемых материалов, так и степень их соответствия прикладываемым сопроводительным документам и сертификатам.

ЗАО «Гидродинамика» было вынуждено помимо жесткого отбора партнеров-поставщиков ввести 100 % обязательный лабораторный входной контроль всего металлопроката, увеличить коэффициенты запасов прочности нагруженных элементов насосных агрегатов и ввести 100 % прочностные гидравлические испытания всех элементов проточной части насосных агрегатов.

Такие меры позволили свести практически к нулю количество претензий и замечаний по качеству от потребителей агрегатов и ликвидировать проблемы по свариваемости элементов конструкции агрегатов в процессе производства.

Аналогичные проблемы выявились и по подшипникам качения, используемым в приводах насосных агрегатов. Безрезультатный поиск надежных поставщиков и попытки наладить отбор качественных подшипников заставили нас пойти на дополнительные затраты и начать с 2003 г. 100 % комплектацию насосных агрегатов подшипниками фирм «SKF» или «FAG».

Такой подход позволил создать и поставить на производство целый ряд герметичных насосных агрегатов. Хорошо зарекомендовали себя у различных потребителей насосные агрегаты

ГДМ8-03 с подачей 125 м³/ч при напоре 700 м, ГДМ21-04 с подачей 25 м³/ч при напоре 900 м, ГДМ10-04 с подачей 220 м³/ч при напоре 600 м, ГДМДЗ с подачей 1250 м³/ч при напоре 40 м.

Герметичный динамический агрегат ГДМ8-03 с электродвигателем мощностью 400 кВт имеет отработанную конструкцию и успешно применяется для транспортировки нефти. При модернизации системы транспортировки нефти в компании «РИТЭК Белоярск-нефть» один агрегат ГДМ8-03 заменял от трех до пяти поршневых насосов.

Представляет интерес полупогружной насосный агрегат с приводным электродвигателем мощностью 90 кВт типа ГДМП10-Е-200/120-4,2-90, обеспечивающий при глубине погружения до 4,2 м подачи в рабочей зоне от 100 до 220 м³/ч при напорах от 130 до 80 м.

Среди новых разработок – герметичный агрегат ГДМ16-10 с подачей 1500 м³, напором 160 м и суммарной мощностью электродвигателей 1000 кВт. Эти агрегаты выиграла в 2008 г. тендер по комплектации нефтяной магистрали Восточная Сибирь – Тихий океан.

Агрегаты типа ГДМ успешно эксплуатируются на нефтегазодобывающих и перерабатывающих предприятиях ОАО «Газпром», ОАО «Лукойл «Томскгазпром», ОАО «Таркосаленефтегаз», ОАО «РИТЭК», ООО «Ноябрьскгазодобыча», ООО «Юрхаровнефтегаз», ОАО «Ямбурггазодобыча», ПО «Нафтан», Хабаровский НПЗ НК «Альянс», ОАО «Казаньоргсинтез» и др. (рис. 3–6).

Конструкция насосных агрегатов типа ГДМ защищена патентами Республики Беларусь № 33, 433, 633, 2497, 2500, 2574, 2853 и свидетельствами Российской Федерации на полезные модели № 9904 и 9905. Соответствие требованиям российских стандартов подтверждено сертификатом № РОСС ВУ Н003.В00054 и разрешением № РРС02-10325 на применение, выданным Госгортехнадзором России.

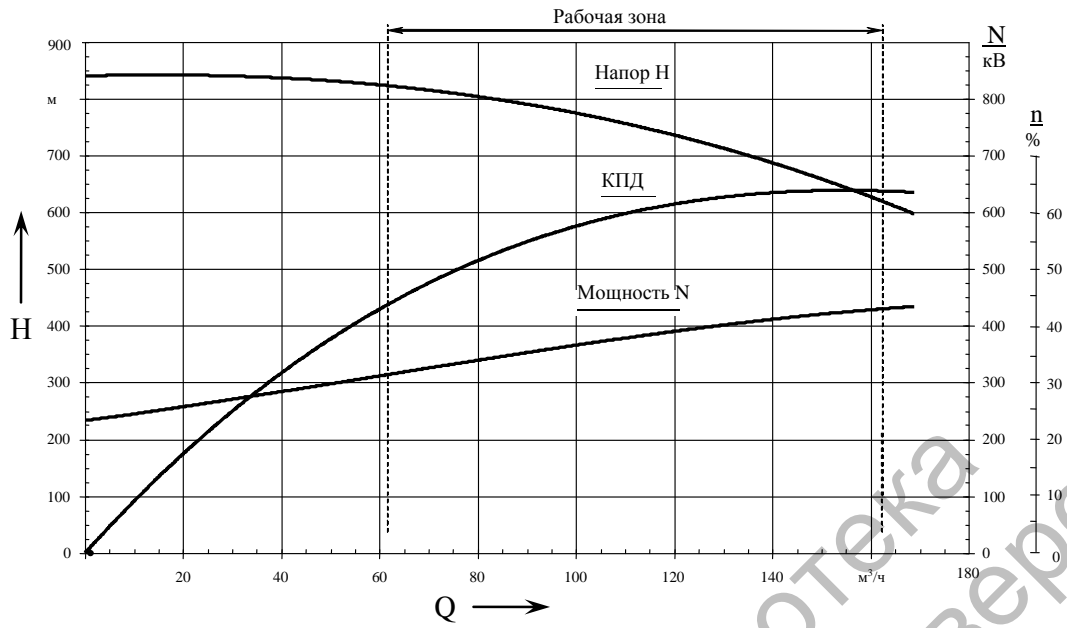


Рис. 3. Характеристика агрегата ГДМ8-03-125/700



Рис. 4. Насосные агрегаты ГДМ8-03-125/750-400 в НПУ «РИТЭК Белоярскнефть»



Рис. 5. Насосные агрегаты ГДМ8-03-125/700-400 для ОАО «Лукойл-Пермь»



Рис. 6. Полупогружной агрегат ГДМП10-Е-200/100-90

Компания также имеет соответствующие лицензии Проматомнадзора РБ на право проектирования, изготовления и ремонта динамических насосов и оборудования для химических производств и процессов, где возможно образование взрывоопасных сред.

Следующий шаг по улучшению экологичности насосных агрегатов, эксплуатируемых в нефтегазодобыче и переработке, по нашему мнению, – замена электропривода на газомоторный, предназначенный работать на попутном газе, который сегодня в больших объемах сжигается в факелах со всеми негативными экологическими последствиями. В заключение предлагаем сотрудничество в разработке, изготовлении и поставке автоматизированных насосных станций с приводами от газовых моторов. Готовы обсудить и спланировать работы, условия взаимодействия. Одновременно подтверждаем обязательство

нашей стороны разработать и изготовить в короткие сроки насосы по согласованным техническим требованиям и ТЗ. Надеемся, что насосные станции могут быть предложены ряду отраслей и химических производств, где имеются другие газы, которые могут служить топливом для моторов.

Уровень разработок, качество наших насосов оценено учредителями Национальной премии «Живой поток», среди которых Российская ассоциация производителей насосов (РАПН), Российская инженерная академия, МВК, Сертификационный центр «НАСТХОЛ» (ТК-245 «Насосы»), Информационно-издательский центр КХТ.

В 2008 г. ЗАО «Гидродинамика» – резиденту свободной экономической зоны «Минск», члену РАПН за представленный на конкурс герметичный динамический насос присвоена названная премия в номинации «Лучший насос».

ЗАО «Гидродинамика»
Материал поступил 14.07.2009

S. P. Subbotin
Realization of a complex of research and development on perfection of pumps of GDM type for oil-and-gas and chemical branches

The short history of creation, development and company formation is given in the article. On base of pioneer decisions designs of glandless pumps with a drive through a magnetic clutch, surpassing in the parameters and characteristics the best world samples have been developed. The wide range of pump units has been mastered by the company manufacture.