

PARAMETER DEFINITION OF THE AVERAGE GAS PRESSURE IN THE SECTION OF THE PIPELINE

БЫКОВ А. И., Leading Engineer of LLC "Gazprom transgaz Ukhta"
(Lenina Avenue, 39/2, Ukhta, 169300, Komi Republic;
e-mail address: abykov@sgp.gazprom.ru)

ABSTRACT

Parameter of medium pressure P^{cp} is required, for example, to estimate the mass of natural gas involved in the formation of a fiery torch in case of emergency destruction of the main pipeline. However, the methodology for a systematic calculation of this parameter in the current methodological and normative documents, the author has not found.

Despite the apparent simplicity of the problem, the analysis has shown that the parameter P^{cp} depends primarily on the performance $Q_{гн}$ of pipeline, the pressure $P_{гн}$ at the beginning of the emergency area and the pressure P_0 at the point of the destruction of the pipeline, which in turn are determined by the dependencies from the pressure $P_{к}$ in the end of emergency site, the relationship of the lengths L_1/L emergency areas, inner diameter $d_{вн}$ of the pipeline, it's the roughness $k_{ш}$, the hydraulic resistance coefficient λ , the gas flow velocity w , it's the density in the working ρ_g , in the normal $\rho_{гн}$ and in the standard conditions ρ_c , and more than twenty parameters characterizing the state of a gas in terms of its transport and depressurization of the pipeline. In some cases there is no justification of the calculated transitions, for example, to calculate the final pressure $P_{к2}$ gas at the second site crash in the presence of data for the initial pressure $P_{гн1}$ first site crash. Calculations of these parameters regulated in several normative documents, which introduces uncertainty in the choice of the calculation scheme and is accompanied by the production of different calculation results.

Calculations of other parameters recommended by the standard methods are complex, three-dimensional routine, require access to specialized software products that are not available in the current engineering activities.

The subjects of this article are refinement of these problems, the rationale for the recommended design solutions and adapting them in a simple, systematic methodology for calculating the average pressure at different sections of the main pipeline.

Keywords: emergency section of the main pipeline; mass of gas; average gas pressure.

REFERENCES

1. Standard of organization Gazprom 2-2.3-351–2009. Guidelines for conducting risk analysis of hazardous production facilities gas transmission companies of JSC "Gazprom". Moscow, JSC Gazprom Ekspo Publ., 2009. 377 p. (in Russian).
2. State Standard 12.3.047–98. Fire safety of technological processes. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1998. 59 p. (in Russian).
3. Technique of determination of settlement sizes of fire risk on production objects. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
4. Guidance document 03-409–01. A method of estimating the effects of accidental explosions of fuel-air mixtures. Moscow, NTTs Promyshlennaya bezopasnost Publ., 2001. 24 p. (in Russian)
5. State Standard 30319.1–96. Gas natural. Methods of calculation of physical properties. Moscow, Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification. Protocol No. 9–96 on 12.04.1996. 16 p. (in Russian).
6. Sukharev M. G., Karasevich A. M. *Tekhnologicheskii raschet i obespecheniye nadezhnosti gazonefteprovodov* [Process calculation and reliability of gas and oil pipelines]. Moscow, Neft i Gas Publ., 2000. 209 p.
7. All-Union standards for technological design 51-1–85. Trunk pipelines. Part 1. Gaspipelines. Order of Ministry of Industry of USSR No. 255 on 29.10.85. Moscow, Mingazprom Publ., 1986. 101 p. (in Russian).
8. Gayer V. G., Dulin V. S., Zarya A. N. *Gidravlika i gidroprivod* [Hydraulics and hydraulic drive]. Moscow, Nedra Publ., 1991. 331 p.
9. Kotlyar I. Ya., Pilyak V. M. *Ekspluatatsiya magistralnykh gazoprovodov* [The operation of gas pipelines]. Leningrad, Nedra Publ., 1971. 248 p.
10. Belitskiy V. D., Lomov S. M. *Proyektirovaniye i ekspluatatsiya magistralnykh gazoprovodov* [The design and operation of gas pipelines]. Omsk, Omsk University Publ., 2011. 62 p.

М. С. САЙКИН, канд. техн. наук, доцент, заслуженный изобретатель Российской Федерации, доцент кафедры теоретических основ электротехники и электротехнологии, ФГБОУ ВПО Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина (Россия, 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34, e-mail: saikin@eef.ispu.ru)

А. В. ТОПОРОВ, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры механики и инженерной графики, ФГБОУ ВПО Ивановский институт ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: ironaxe@mail.ru)

Е. А. ТОПОРОВА, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроительного производства, ФГБОУ ВПО Текстильный институт Ивановского государственного политехнического университета (Россия, 153000, г. Иваново, Шереметевский просп., 21)

УДК 621.318

ПОВЫШЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ГЕРМЕТИЗАТОРОВ ВАЛОВ МЕШАЛОК

Приведены разработки конструкций магнитожидкостных герметизаторов вращающихся валов мешалок химических реакторов. Даны рекомендации по использованию конструкционных материалов и магнитных наножидкостей для магнитожидкостных герметизаторов химических реакторов. Показано, что применение магнитожидкостных герметизаторов позволяет исключить утечки реагентов и повысить пожарную безопасность химических реакторов. На основе исследований разработана конструкция герметизаторов для лакокрасочного производства ОАО "Лакокраска" (г. Ярославль).

Ключевые слова: пожарная безопасность; химический реактор; магнитожидкостный герметизатор; магнитная наножидкость; постоянный магнит.

Введение

Получение новых веществ и материалов в химической промышленности связано с использованием реакторов. Химический реактор является основным и наиболее опасным в пожарном отношении элементом технологической цепи любого химического производства. В настоящее время на предприятиях химического машиностроения выпускаются химические реакторы объемом 1, 2, 3, 5, 6, 10, 16, 25, 32 и 50 м³. Однако с его увеличением возрастает диаметр вала мешалки.

Герметизация вращающихся валов химических реакторов является актуальной задачей. Это связано прежде всего с жесткими нормами по предельной концентрации вредных веществ в атмосфере цехов химических производств.

Большинство химических реакторов работает при периодической загрузке, а протекание химических реакций происходит лишь при определенных температурах, величина которых определяется энергией активации химических реакций. Для температур до 400 °С справедливо правило Ванг-Гоффа, согласно которому повышение температуры на 10 °С приводит к возрастанию константы скорости хими-

ческой реакции в 2...4 раза. При увеличении температуры повышается пожарная опасность реакторов.

Для герметизации валов химических реакторов применяют торцевые уплотнения, допускающие утечки герметизируемой среды [1], которые могут привести к недопустимой концентрации газов в атмосфере цеха с точки зрения пожароопасности. Кроме того, внутрь реактора попадает атмосферный воздух, что при некоторых технологических процессах может привести к браку продукции и даже взрыву реактора. В связи с этим целесообразно использовать уплотнения, которые обеспечивают полную герметичность вращающихся валов.

Этому требованию удовлетворяют магнитожидкостные герметизаторы (МЖГ), которые относятся к бесконтактным уплотнениям. Они обладают абсолютной герметичностью, малым собственным моментом трения, отсутствием износа, высоким ресурсом работы и простотой технического обслуживания [2]. Принцип действия МЖГ основан на удержании магнитной наножидкости (МНЖ) в рабочем зазоре пондеромоторной силой, которая возникает при взаимодействии магнитного момента единичного МНЖ с неоднородным магнитным полем.

МНЖ представляет собой коллоидный раствор частиц магнетита Fe_3O_4 в жидкости-носителе. Для предотвращения слипания ферромагнитных частиц между собой их покрывают стабилизатором, в качестве которого используют поверхностно-активные вещества (ПАВ). Малый размер частиц (порядка $100 \text{ \AA}$) и их тепловое движение препятствуют слипанию и оседанию частиц и обеспечивают устойчивость МНЖ как коллоидной системы.

Цель работы — разработка новых конструкций МЖГ для герметизации валов мешалок химических реакторов с учетом технологических и эксплуатационных особенностей, связанных со взрывопожаробезопасностью химических производств.

Экспериментальные исследования проводились с целью оценки работоспособности МНЖ с химически агрессивными средами, теоретические — с целью определения рациональных параметров рабочего зазора и магнитной цепи МЖГ. Для этого использовалось численное моделирование на основе метода конечных элементов.

Основная часть

Применение МЖГ для герметизации валов мешалок химических реакторов предъявляет дополнительные требования к их конструктивному исполнению. Если для вакуумных МЖГ вопросы взаимодействия МНЖ с уплотняемой средой не рассматриваются, то при герметизации жидких и агрессивных сред их необходимо учитывать.

В отличие от МЖГ, предназначенных для герметизации вращающихся валов вакуумного оборудования, герметизаторы химических реакторов должны надежно эксплуатироваться при воздействии агрессивных сред, повышенных температурах (до 400°C), осевых и радиальных биениях вала около 1 мм.

Обязательным требованием, предъявляемым к МНЖ при работе с агрессивными средами, является исключение процессов ее смешения и химического взаимодействия с уплотняемой средой. Для выявления этих процессов и определения стойкости МНЖ к воздействию температур и агрессивных сред проводилось сравнение ее физических характеристик до и после термообработки и воздействия агрессивных сред. В качестве физических характеристик использовались плотность, пластическая вязкость, намагниченность, кинетическая и агрегативная устойчивость.

Измерение плотности МНЖ проводилось в соответствии с ГОСТ 18995.1–73. Пластическая вязкость определялась на ротационном вискозиметре согласно ГОСТ 26581–85. Намагниченность устанавливалась дифференциально-баллистическим методом. Кинетическая и агрегативная устойчивость МНЖ в неоднородном магнитном поле оценивалась в соответствии с методиками ТУ.

Проведены термоиспытания МНЖ Ф1-20 и С1-20В [3] в статике и динамике при температуре 150°C . Для термоиспытаний в статике использовался сушильный шкаф, температура внутри которого поддерживалась с помощью электроконтактного термометра. Термоиспытания в динамике проводились в однозубцовом макете МЖГ. Контроль температуры осуществлялся с помощью термопары, установленной на полюсе герметизатора.

Статические и динамические испытания МНЖ показали, что МНЖ С1-20В в процессе контакта с органическими растворителями выдерживает действие лишь ацетона. При взаимодействии со всеми остальными растворителями имеет место коагуляция, на что указывают изменения во всех измеренных физико-химических характеристиках (плотность, пластическая вязкость, намагниченность, агрегативная и кинетическая устойчивость). МНЖ типа Ф1-20 устойчива к воздействию не только гексана, хлороформа, толуола, ацетона, этилацетата, но и таких высокоактивных растворителей, как N,N-диметилформамид и тетрагидрофуран.

На следующем этапе работы изучалось влияние этих сред на стойкость МНЖ в течение 300 ч при 150°C . Для изучения стойкости МНЖ к воздействию высоких температур и агрессивных сред при работе в составе МЖГ химических реакторов была выбрана МНЖ на фторированной основе Ф1-20.

В целях ограничения воздействия агрессивных сред разработана конструкция МЖГ с защитным элементом, который выполнен в виде гидравлического затвора обратного типа, что позволяет защитить МНЖ от контакта с агрессивной средой. Все элементы гидрозатвора, контактирующие с агрессивной средой, выполнены из фторопласта. В качестве запорной жидкости используются малоиспаряемые химически стойкие жидкости, что позволяет исключить воздействие агрессивной среды и тепловых потоков реактора непосредственно на детали МЖГ и МНЖ.

МЖГ надежно работают только при условии, что уплотняемый зазор выполнен с высокой точностью. Валы реакторов, как правило, имеют биения, многократно превышающие допустимые для МЖГ, поэтому прямая герметизация вала реактора невозможна, необходимо устройство, компенсирующее эти биения. Обычно оно выполняется на основе упругих элементов — сильфонов или резин. Для решения данной задачи сильфоны не подходят, так как не обеспечивают требуемый ресурс из-за ограниченного допустимого числа боковых деформаций (обычно около 1 млн., после чего происходит механическое разрушение сильфона). Поэтому разработаны устройства развязки от биений вала на основе резины в виде колец, которые крепятся к валу и гер-

метизируются фторопластовыми уплотнителями. Для уменьшения воздействия тепла, поступающего от вала, вмонтировано тепловое сопротивление лабиринтного типа, снижающее температуру в месте установки резиновых колец. Таким образом, исключается перегрев резиновых колец, воспринимающих и компенсирующих биения вала. Одно из них воспринимает аксиальную, а другое — радиальную составляющую биений.

Конструкция магнитного узла МЖГ для вала мешалки химического реактора должна обладать рядом специальных требований, а именно: иметь простое устройство; полную защиту постоянных магнитов от контакта с химически активной средой; обеспечивать быстрый доступ к постоянным магнитам, их монтаж и демонтаж. Это позволит изменять количество магнитов в МЖГ и использовать магниты с разными энергетическими характеристиками, тем самым регулируя величину индукции магнитного поля в рабочем зазоре герметизатора.

Классическая конструкция МЖГ (рис. 1) представляет собой магнитный узел. МНЖ 1 находится в рабочем зазоре δ , образованном между валом 2 и полюсными приставками 3, между торцевыми поверхностями которого находится постоянный магнит 4.

Недостаток классической конструкции МЖГ — отсутствие возможности замены постоянных магнитов и изменения их количества без ее демонтажа и разборки. В модернизированной конструкции МЖГ [4] (рис. 2) такая возможность предусмотрена.

Модernизированная конструкция МЖГ состоит из магнитного узла, включающего в себя постоянный магнит 1 и две полюсные приставки, концентрически охватывающие вал. Одна из полюсных приставок является внешней и выполнена составной, причем одна из ее частей 2 примыкает к торцевой поверхности постоянного магнита 1, а другая часть 3 образует рабочий зазор δ_1 с вращающимся валом 4. Вторая полюсная приставка 5 — внутренняя, примыкает к торцевой поверхности постоянного магнита 1 и образует рабочий зазор δ_2 с вращающимся валом. Между полюсными приставками находится немагнитопроводная втулка 6. Рабочие зазоры δ заполнены МНЖ 7.

В МЖГ могут применяться постоянные магниты в форме колец, намагниченные в осевом направлении, или наборные магниты, например, в форме пластин.

При работе МЖГ основной магнитный поток Φ_δ замыкается по пути: постоянный магнит 1 — части внешней составной полюсной приставки 2 и 3 — рабочий зазор δ_1 — вал 4 — рабочий зазор δ_2 — внутренняя полюсная приставка 5 — постоянный магнит 1 — и образует замкнутую магнитную цепь.

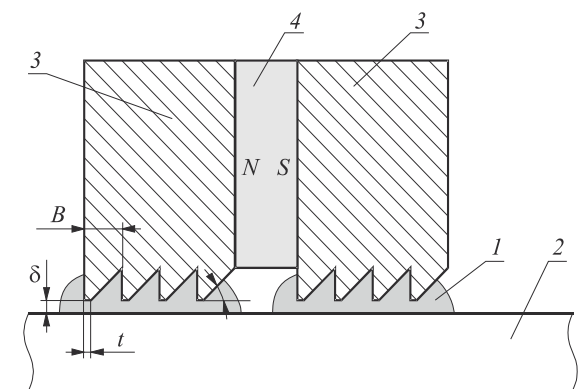


Рис. 1. Классическая конструкция МЖГ

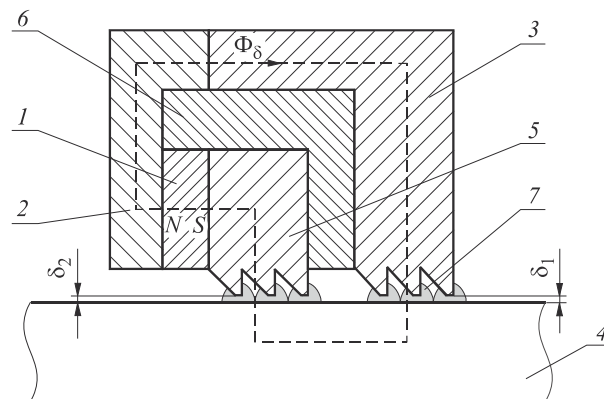


Рис. 2. Модернизированная конструкция МЖГ

МНЖ 7 взаимодействует с полем постоянного магнита и удерживается в рабочих зазорах δ_1 и δ_2 ponderomotorной силой, образуя препятствие для прохождения герметизируемой среды.

Конструктивная особенность модернизированного МЖГ (см. рис. 2) состоит в том, что часть 2 внешней полюсной приставки имеет возможность быстрого монтажа и демонтажа. Это позволяет регулировать эксплуатационные характеристики МЖГ за счет изменения параметров магнитного поля в рабочих зазорах δ_1 и δ_2 при применении магнитов с разными энергетическими характеристиками и выбирать наиболее рациональный эксплуатационный режим.

Предлагаемая конструкция МЖГ позволяет полностью исключить контакт постоянных магнитов с уплотняемой средой, что особенно важно при герметизации валов реакторов для защиты от агрессивных сред.

Критический перепад давлений МЖГ пропорционален максимальному значению индукции в рабочем зазоре, которая, в свою очередь, зависит от остаточной индукции постоянного магнита. При повышении температуры происходит уменьшение последней, а следовательно, и критического перепада давлений. Поэтому для МЖГ, предназначенных для герметизации валов химических реакторов, должны применяться магниты, изготовленные из “закрити-

ческих” материалов с высокой температурной стабильностью. Кроме того, применение таких магнитов позволяет уменьшить массогабаритные параметры МЖГ. В качестве рекомендуемых целесообразно применять магниты из сплава самарий – кобальт марок КС37, КС25 и магниты на основе сплава неодим – железо – бор марки ЧЗ6Р [5, 6]. Оценки коррозионной стойкости магнитов не требуется, так как конструкция МЖГ обеспечивает их защиту от химического воздействия уплотняемой среды.

Большинство химических реакторов имеет верхний привод вала, поэтому полюсные приставки, вал и корпус МЖГ будут взаимодействовать с парами агрессивной среды химического реактора. Это может приводить к различным видам электрохимической коррозии конструктивных элементов уплотнения [7, 8]. Оценка коррозионной стойкости проводилась по 10-балльной шкале, причем наибольшую стойкость проявляют металлы с оценкой “1”.

В качестве материала корпуса могут использоваться немагнитные стали марок Х18Н9, Х18Н9Т, Х18Н10, Х18Н10Т или титан марок ВТ5-1, ВТ6С, ВТ14. Для прокладок и шайб можно применять фторопласты марок Ф-4, Ф-4Д, Ф-40, Ф-42 [9].

Для элементов магнитной цепи МЖГ должны применяться стали, имеющие, кроме высокой коррозионной стойкости, достаточную индукцию магнитного насыщения (1,6–1,8 Тл) [10]: 08Х13, 12Х13, 15Х28, 20Х13, 30Х13, 40Х13. Выбор того или иного материала следует производить в соответствии с данными по его коррозионной стойкости к уплотняемой среде. Следует отметить, что коррозионная стойкость сталей обычно повышается с улучшением чистоты обработки поверхности. Такие стали устойчиво работают при температурах от 20 до 60 °С при невысоких и средних концентрациях азотной кислоты (20–60 %) и высоких концентрациях серной кислоты (90–100 %). Кроме того, коррозионной стойкостью к этим кислотам обладают стали ХН55БЮ, ХН40МДТЮ, 06ХН28МДТ. К воздействию фосфорной кислоты при ее различных концентрациях устойчивы стали марок 08Х17Т, 15Х28 при температурах до 60 °С, Х18Н9Т и Х18Н10Т — до 100 °С, при концентрации 40 % — стали марок 12Х18Н10Т, 02Х18Н11, 10Х17Н13МЗТ при температурах до 100 °С. Стали Н70МФВ-ВИ, 08Х21Н6М2Т обладают коррозионной стойкостью при температурах до 140 °С при различных концентрациях соляной кислоты.

Кроме того, многие из вышеперечисленных сталей обладают коррозионной стойкостью к органиче-

ским кислотам. Например, к уксусной кислоте при концентрации до 50 % и температуре до 50 °С устойчивы стали марок 08Х13, 12Х17, 08Х17Т. К уксусной кислоте любой концентрации устойчивы стали 15Х28, 15Х25Т, ХН50НБЮ при температурах до 50 °С, при концентрации до 80 % — стали Х18Н9Т и Х18Н10Т при температурах до 100 °С.

Приведенные данные показывают, что каждая из сталей обладает коррозионной стойкостью лишь в определенном диапазоне концентраций и температур для различных сред. Поэтому для унификации МЖГ по коррозионной стойкости к большому числу агрессивных сред необходимо введение защитных конструктивных элементов. Кроме того, большинство сталей обладает коррозионной стойкостью лишь при температурах до 100 °С, поэтому для обеспечения их работоспособности в течение длительного времени должна быть предусмотрена система охлаждения.

Численные исследования МЖГ проводились на основе метода конечных элементов [11]. Исходными данными при проектировании уплотнения являлись: диаметр вала, скорость его вращения, рабочий перепад давлений. Агрессивность среды, высокая температура и требуемый ресурс работы не менее 1 года учитывались выбором повышенного коэффициента запаса по давлению, равного 2. При рабочем перепаде давлений 100 кПа критический перепад давлений МЖГ должен составлять 200 кПа. В процессе расчета определялись геометрические размеры системы, выбор марки и размеров магнита.

Проведены расчеты МЖГ на диаметры уплотняемых валов мешалок 95 и 110 мм для химических реакторов объемом 6 и 10 м³. В результате расчетов определены размеры постоянных магнитов и геометрические размеры зубцовой зоны.

Проведенные исследования МНЖ и МЖГ позволили разработать конструкцию герметизатора на химические реакторы объемом 6 и 10 м³ для лакокрасочного производства ОАО “Лакокраска” (г. Ярославль).

Выводы

Применение МЖГ в химических реакторах позволило исключить утечки реагентов и повысить взрыво- и пожаробезопасность оборудования, снизить брак продукции, улучшить экологическую обстановку в цехах химических предприятий, уменьшить загрязнение окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельник В. А. Торцовые уплотнения валов : справочник. — М. : Машиностроение, 2008. — 320 с.
2. Орлов Д. В., Михалев Ю. О., Мышкин Н. К. и др. Магнитные жидкости в машиностроении / Под ред. Д. В. Орлова, В. В. Подгоркова. — М. : Машиностроение, 1993. — 272 с.

3. Курченков А. Г. Магнитные жидкости — новый эффективный материал // Механизация и автоматизация. — 1990. — № 4. — С. 34–35.
4. Патент на полезную модель 113325 Российская Федерация, МКИ F16J 15/54. Магнитожидкостное уплотнение / Сайкин М. С., Морозова Д. Ю., Федорова О. Е. — Оpubл. 10.02.2012 г., Бюл. № 4.
5. Пятин Ю. М. Постоянные магниты : справочник. — М. : Энергия, 1980. — 488 с.
6. Сайкин М. С. Особенности выбора постоянных магнитов для магнитожидкостных герметизаторов технологического оборудования // Вестник научно-промышленного общества. — М. : Изд-во “АЛЕВ-В”, 2004. — Вып. 7. — С. 15–19.
7. Томашов Н. Д., Чернова Г. П. Теория коррозии и коррозионно-стойкие конструкционные сплавы. — Л. : Химия, 1988. — 460 с.
8. Сайкин М. С., Бобко Л. А. Особенности выбора конструкционных материалов и магнитных жидкостей для МЖУ химических аппаратов // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции “Состояние и перспективы развития электротехнологии”, VI Бенардосовские чтения. — Иваново, 1992. — С. 132.
9. Журавлев В. Н., Николаева О. И. Машиностроительные стали : справочник. — М. : Машиностроение, 1992. — 480 с.
10. Константинов В. В. Магнитная технологическая оснастка. — М. : Энергия, 1974. — 367 с.
11. Сайкин М. С. Особенности конечно-элементного моделирования электромеханических магнито-жидкостных герметизаторов // Сборник докладов научного семинара, посвященного 200-летию открытия электрической дуги В. В. Петровым и 160-летию со дня рождения Н. Н. Бенардоса “Электротехника и прикладная математика”. — Иваново, 2003. — С. 42–44.

Материал поступил в редакцию 13 октября 2014 г.

English

CHEMICAL MANUFACTURING FIRE SAFETY INCREASING BY USING OF MAGNETIC FLUID SEALS OF MIXERS SHAFTS

SAYKIN M. S., Candidate of Engineering Sciences, Docent, Honored Inventor of the Russian Federation, Assistant Professor of Electric Engineering Theoretical Base and Electrotechnologies Department, Ivanovo State Power Engineering University named after V. I. Lenin (Rabfakovskaya St., 33, Ivanovo, 153003, Russian Federation; e-mail address: saikin@eef.ispu.ru)

TOPOROV A. V., Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer of Mechanics and Engineering Graphics Department, Ivanovo Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail address: ironaxe@mail.ru)

TOPOROVA E. A., Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Machine-Building Technology Department, Textile Institute of Ivanovo State Polytechnic University (Sheremetevskiy Avenue, 21, Ivanovo, 153000, Russian Federation)

ABSTRACT

The most fire dangerous in the chemical industry is connected with the chemical reactors. Chemical reagents leaking from chemical reactor can cause fire or explosion. Therefore, mixers rotating shafts of chemical reactors sealing is an important task. Mechanical seals used for this purpose operate with the leakages that decrease fire and explosion safety. Magnetic fluid seals have absolute leak tightness, low friction torque, no wear, long service life and ease of maintenance. Chemical reactors seals should operate reliably when exposed to corrosive environments, high temperature (up to 400 °C), about 1 mm axial and radial shaft runouts. The results of the research showed that the magnetic nanofluid type F1-20 (based on the organofluorine liquid) is resistant not only to the hexane, chloroform, toluene, acetone, ethyl acetate, but such potent solvents as N,N-dimethylformamide and tetrahydrofuran. Also, magnetic nanofluid type F1-20 successfully passed the temperature test for 300 hours at 150 °C. To limit the aggressive environment influence on magnetic fluid seal parts the seal with a protective element in the form of a reverse type hydraulic valve has been designed.

It is proposed to install magnetic fluid seal in special rubber bushings to compensate shaft runout. Designed special magnetic system allows to isolate the permanent magnet from the aggressive environment. Special magnetic system also permits to regulate magnetic induction in the seal air gap to obtain optimal performances and the magnetic fluid durability. The investigations allowed us to develop new design of magnetic fluid seals for mixers shafts 95 and 110 mm diameter of chemical reactors 6 and 10 m³. Designed seals were made and installed on chemical reactors of paint production company “Lakokraska” (Yaroslavl). Installed magnetic fluid seals eliminated reactants leakages and as a consequence increased fire and explosion safety of the production.

Keywords: fire safety; chemical reactor; magnetic fluid seal; magnetic nanofluid; permanent magnet.

REFERENCES

1. Melnik V. A. *Tortsovyye uplotneniya valov: spravochnik* [Mechanical shaft seals. Handbook]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2008. 320 p.
2. Orlov D. V., Mikhaylov Yu. O., Myshkin N. K. *Magnitnyye zhidkosti v mashinostroyenii* [Magnetic fluids in engineering]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1993. 272 p.
3. Kurchenkov A. G. Magnitnyye zhidkosti — novyy effektivnyy material [Magnetic fluids as a new effective material]. *Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya — Mechanization and Automization*, 1990, no. 4, pp. 34–35.
4. Saykin M. S., Morozova D. Yu., Fedorova O. E. *Magnitozhidkostnoye uplotneniye* [Magnetic fluid seal]. Patent RF, no. 113325, 10.02.2012.
5. Pyatin Yu. M. *Postoyannyye magnity: spravochnik* [Permanent magnets. Handbook]. Moscow, Energiya Publ., 1980. 488 p.
6. Saykin M. S. Osobennosti vybora postoyannykh magnitov dlya magnitozhidkostnykh germetizatorov tekhnologicheskogo oborudovaniya [The permanent magnets choice for technological equipment magnetic fluid seals]. *Vestnik nauchno-promyshlennogo obshchestva — Scientific-Industrial Society Bulletin*. Moscow, ALEV-V Publ., 2004, issue 7, pp. 15–19.
7. Tomashov N. D., Chernova G. P. *Teoriya korrozii i korroзионно-stoykiye konstruksionnyye splavy* [Structural alloys corrosion theory and corrosion-resistant alloys]. Leningrad, Khimiya Publ., 1988. 460 p.
8. Saykin M. S., Bobko L. A. Osobennosti vybora konstruksionnykh materialov i magnitnykh zhidkostey dlya MZhU khimicheskikh apparatov [Selection features of structural materials and magnetic fluids for chemical devices magnetic fluid seals]. *Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii “Sostoyaniye i perspektivy razvitiya elektrotekhnologii”*, VI Benardosovskiy chteniye [Abstracts of the International scientific-technical conference “State and prospects of Electrotechnology development”, VI Benardos reading]. Ivanovo, 1992, p. 132.
9. Zhuravlev V. N., Nikolaeva O. I. *Mashinostroitelnyye stali: spravochnik* [Engineering steels. Handbook]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1992. 480 p.
10. Konstantinov V. V. *Magnitnaya tekhnologicheskaya osnastka* [Technology magnetic tools]. Moscow, Energiya Publ., 1974. 367 p.
11. Saykin M. S. Osobennosti konechno-elementnogo modelirovaniya elektromekhanicheskikh magnitozhidkostnykh germetizatorov [Finite element modeling features of the electromechanical performance of the magnetic fluid seals]. *Sbornik dokladov nauchnogo seminara, posvyashchennogo 200-letiyu otkrytiya elektricheskoy dugi V. V. Petrovym i 160-letiyu so dnya rozhdeniya N. N. Benardosa “Elektrotekhnika i prikladnaya matematika”* [Collected reports of the scientific seminar dedicated to the 200th anniversary of the electric arc discovery by V. V. Petrov and the 160th anniversary of the birth of N. N. Benardos “Electrical Engineering and Applied Mathematics”]. Ivanovo, 2003, pp. 42–44.