

Инновации в нанотехнологии: метод повышения надежности и эффективности эксплуатации газомотокомпрессорных агрегатов

T.I. Temurov
PO "Azneft"

e-mail: temurov_1986@mail.ru

Ключевые слова: газомотокомпрессорные агрегаты для сжатия природного газа, масляная система, механическая система, пограничное трение, смазочное масло MC-20, нанометричная присадка, вязкость, надежность эксплуатации.

DOI.10.37474/0365-8554/2020-8-62-68

Nanoteknologiyada innovasiyalar: qaz mühərriki kompressor aqreqlarının etibarlılığının və istismar effektivliyinin artırılması metodu

T.I. Temurov
"Azneft" İB

Açar sözlər: təbii qazın sıxılması üçün qaz mühərriki kompressor aqreqları, yağlama sistemi, mexaniki sistem, sərhəd sürünməsi, MC-20 sürkətli yağı, nanometrik əqşar, özlülük, istismar etibarlılığı.

Qaz mühərriki kompressor aqreqlarının (QMKA) etibarlılığı və istismar effektivliyinin artırılması bir sıra nazari və tətbiqi məsələlərin həlləndirilməsidir. Bu məsələlərin həlli avadanlığın işinə bilavasitə təsir göstərən istismarın konkret rejim şərtlərindən asılıdır. Aqreqların intinalarının səbəb-nəticə əlaqələrinin təhlili nəticəsində onların fiziki təbiəti və qanunauyğunluqlarının izahını əmələ gətirən çox yayılmış intinaların qabaqcıl xarakteristiklərini təhlil etmək və profilaktik tədbirləri apararaq QMKA-ların istismar effektivliyini və etibarlılığını təmin etmək mümkündür.

Bununla əlaqədar QMKA-ların etibarlılığı və istismar effektivliyinin təhlili aparılmış, onların mexaniki və yağlama sistemlərinin etibarlılığının aşığı olmasının səbəbi və nəticələri müəyyənləşdirilmişdir. Hər sistemin etibarlılığının göstəriciləri və işləmə paylanmalarını hesablanmış və şərhli verilməmişdir. QMKA-ların sürünən cütünlərini üst sətəhə yaxın təbəqələrinin gərginlik halının xarakteristik xüsusiyyətlərini təhlil edilmişdir. Sərhəd qatının xarakteristikasının geniş təhlili göstərməmişdir ki, onun iş qabiliyyəti əhəmiyyətli dərəcədə əlavə edilən aşqardan asılı olaraq, yüksək temperaturat şəraitində, kiçik dispersiyalı nanometrik əqşarların aktiv mədələrinin adsorbsiyası və xemosorbsiyasına gətirib çıxarır.

Анализ надежности и эффективности эксплуатации газомотокомпрессорных агрегатов, эксплуатируемых в системе подземного хранения природного газа SOCAR

Проблема повышения надежности и эффективности эксплуатации газомотокомпрессорных агрегатов (ГМКА) является многоаспектной и зависит от решения целого ряда теоретических и прикладных задач. Решение указанных задач связано с учетом множества случайных, независимых, зависимых и взаимозависимых факторов, непосредственно

Innovations in nanotechnology: a method of increasing reliability and efficiency of the operation of gas compressor units

T.I. Temurov
"Azneft" PU

Keywords: gas-compressor units for compressing natural gas, oil system, mechanical system, boundary friction, lubricant MS-20, nanometric additive, viscosity, operational reliability.

The issue of improving the reliability and efficiency of the operation of gas-engine compressor units (GMSA) depends on the solution of a number of theoretical and applied problems. The solution of the problems is associated with many factors directly affecting the nature of the equipment, depending on the specific operating conditions. The main task in improving operational efficiency and reliability is to disclose the cause-effect relationships of unit failures through an explanation of the physical nature and patterns of failures in order to develop measures to prevent and control the most common failures to manage and ensure the reliability of the MCA. As a result of the study [1], it turned out that the most significant and sensitive aspect is the oil system and directly lubricating oil MS-20, the parameters of which early cease to meet standard values. The subsequent events lead to an acceleration of the onset of failures of the mechanical system, unproductive interruptions and downtime for repairs and maintenance.

As a result of the analysis of the reliability and operational efficiency of the units, the reasons and consequences of the low reliability of the elements of the oil and mechanical systems of the units are identified. The basic indicators of reliability and distribution of operating time of both systems, their interpretation are calculated. The characteristic properties of the stress state of the near-surface layers of rubbing pairs of MCA are substantiated. A detailed analysis of the characteristics of the boundary layer showed that its performance substantially depends on the additive, which at high temperatures leads to the adsorption and chemisorption of active substances in the form of a low-dispersion nanometric additive. These include the additive, the original nanotechnology based on the application of the "effect of low concentrations and disturbances", the author of which is Doctor in Technical Sciences, prof. E.K. Shakhbazov, proposed to improve the reliability and efficiency of operation of the mining and metallurgical complex.

сортных агрегатов (ГМКА) является многоаспектной и зависит от решения целого ряда теоретических и прикладных задач. Решение указанных задач связано с учетом множества случайных, независимых, зависимых и взаимозависимых факторов, непосредственно

влияющих на характер работы оборудования в зависимости от климатических и конкретных режимных условий (факторов) эксплуатации.

Способность ГМКА выполнять поставленную задачу по бесперебойной транспортировке газа определяется его эффективностью, включающей техническое совершенство конструкции и эксплуатационную надежность.

Эффективность ГМКА определяется комплексом свойств, которые задаются при проектировании, обеспечиваются при изготовлении и монтаже, поддерживаются при эксплуатации.

Опыт эксплуатации показывает, что одного технического совершенства конструкции еще недостаточно для эффективного использования ГМКА. Необходимо, чтобы все свойства, формирующие техническое совершенство агрегата, соответствовали заданным требованиям надежности.

Основная задача в вопросе повышения эффективности эксплуатации, надежности машин и агрегатов заключается, прежде всего, в раскрытии причинно-следственных связей отказов через объяснение физической природы и закономерностей отказов с тем, чтобы разработать научно обоснованные мероприятия для предупреждения и профилактики наиболее распространенных отказов с целью управления и обеспечения надежности ГМКА.

Результаты исследований [1] показали, что наиболее эффективным средством борьбы с преждевременным выходом из строя узлов и деталей ГМКА в целом, является определение причин отказов, и разработка действенных мер по их предупреждению. Установление истинных причин ускоренного изнашивания, повреждений и разрушений деталей является сложной задачей, так как их возникновение может быть вызвано комплексом случайных зависимых или независимых факторов.

Подробное изучение природы характерных видов изнашивания трущихся пар показали влияние температуры, нагрузки в зоне контакта, коэффициента трения, формирования пленки и качества смазки, изменения параметров масляной системы и качества смазочного масла MC-20.

В указанном комплексе к наиболее значимым и чувствительным факторам относятся масляная система и масло MC-20. В процессе многолетнего наблюдения и постоянного контроля над изменениями параметров масляной системы установлена реальная связь между ча-

стойкой и количеством выходов из строя узлов и деталей и качеством масла MC-20. Наиболее быстрое изменение и ухудшению качества подвергаются, прежде всего, такие параметры как окисление и загрязнение масла за счет его угара в цилиндрах силовой части двигателя и в результате уноса масла перекачиваемым газом из компрессорных цилиндров и сальниковых уплотнений. В итоге влияния всех физических, химических и физико-химических процессов происходит старение масла и ухудшение его главных защитных свойств: отвод тепла из трущихся пар, удаление продуктов износа, обеспечение надежного уплотнения в местах, где плотность является основным технологическим требованием.

В результате обработки статистической промышленной информации по наработкам и отказам элементов масляной и механической систем агрегатов типа 10 ГКНА 1/55/ 125, получены следующие данные:

- по наработкам и отказам элементов масляной системы
- среднее значение наработки (мат. ожидание) – $T_n = 250$ ч.
- дисперсия (среднеквадратическое отклонение) – $\sigma = 140$ ч.
- коэффициент вариации – $V = 0.56$ (рис. 1).

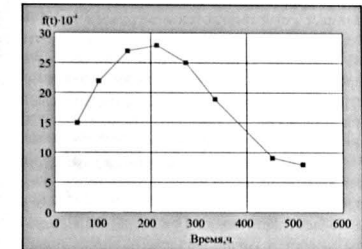


Рис. 1. Зависимость плотности вероятности наработки элементов масляной системы агрегатов 10 ГКНА 1/55/125, подчиняющаяся теоретическому закону распределения Вейбулла

по наработкам и отказам элементов механической системы

- среднее значение наработки (мат. ожидание) – $T_n = 595$ ч.
- дисперсия (среднеквадратическое отклонение) – $\sigma = 603$ ч.
- коэффициент вариации – $V = 1.013$ (рис. 2).

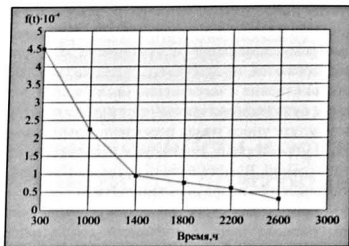


Рис. 2. Зависимость плотности вероятности параболот элементов механической системы агрегатов 10 ГКНА 1/55/ 125, подчиняющихся экспоненциальному закону распределения

Плотность вероятности отказов масляной системы, подчиняющейся закону Вейбулла формируется под влиянием процесса изменения параметров смазочного масла МС-20, точнее, ухудшения вязкости и изменения перепада давления на выходе системы, при котором срывается сигнал к остановке агрегата. Таким образом, причиной остановки и восстановления функционирования агрегата, становится параметрический отказ масляной системы. Частота и количество этих отказов приводит к незапланированным видам техобслуживания, которые регистрируются в журналах как ТО-1, хотя период между ними должен составлять не менее 500 ч. [2]. В течение этих ремонтов проводится чистка и замена вышедших из строя элементов фильтров для грубой и тонкой очистки масла, а также доводка масла МС-20 до требуемого уровня и объема.

Полная же замена масла производится один раз в год в процессе ТО-3, во время которого проводится также профилактический осмотр наиболее ответственных узлов, деталей и замеры зазоров в трущихся парах цилиндр-поршневых групп двигателей и компрессоров.

Изменения параметров масла МС-20 из-за ухудшения работы группы фильтров не приводят непосредственно к отказам самих агрегатов, так как эти параметры не относятся к выходным параметрам агрегатов, но предупреждают о проведении необходимой профилактики или смены отказавших элементов масляной системы. Закон распределения Вейбулла, которому теоретически подчиняется данный процесс, может практически измениться в сторону экспоненциального, если матожидание

отказа будет стремиться к увеличению, что наиболее вероятно в ранние периоды после смены масла и его параметры могут некоторое время оставаться постоянными.

Достаточно подробный анализ отказов систем ГМКА и их элементов показал, что они имеют сложный, комплексный характер, и которые, в зависимости от обстоятельств и времени наступления носят характер постепенно-го, внезапного и параметрического отказа.

Характерные свойства напряженного состояния приповерхностных слоев трущихся пар ГМКА

Прежде чем стать элементом подвижного сопряжения у любой детали, подвергшейся технологической обработке, меняются свойства приповерхностных слоев.

Влияние изменения характера поверхностного слоя металлов на работоспособность трущихся пар связано со следующими причинами [3].

1. Молекулы и атомы, находящиеся у поверхности имеют свободные связи, что приводит к процессам адсорбции (поглощения), козизии (сцепления), адгезии (прилипания), смачивания и другим видам взаимодействия с веществами внешней среды, за счет которого поверхностный слой приобретает своеобразное строение.

2. В результате разнообразных технологических процессов образуется необходимая форма поверхностного слоя, изменяющая его структуру и напряженное состояние, которые, как правило, сильно отличаются от всего объема материала.

3. В процессе эксплуатации происходит непрерывное изменение параметров поверхностного слоя в значительно большей степени, чем изменения, происходящие по всему объему материала.

Позтому большинство отказов агрегатов связано с процессами, протекающими в поверхностных слоях, и их природа не может быть объяснена без анализа тех изменений, которые претерпевают характеристики поверхностного слоя при эксплуатации. Необходимо также учитывать поверхностные явления с учетом наличия смазки и поверхностно-активных веществ (ПАВ). Смазочный слой образуется у поверхности детали особую структуру, так как свободные связи атомов и молекул, расположенных в последнем слое, взаимодей-

ствуют с молекулами смазки и твердого тела. В результате адсорбции происходит образование тончайших пленок масел с ориентированными слоями молекул.

При наличии смазки между трущимися поверхностями, если его толщина составляет не менее 0.1 мкм и превышает суммарную высоту микронеровностей двух сопряженных поверхностей, внешнее трение твердых тел переходит во внутреннее трение смазочного слоя. В этом случае поведение жидкости будет подчиняться законам гидродинамики, а трение называться гидродинамическим.

Переход гидродинамического режима в граничный возникает при толщине масляной пленки менее 0.1 мкм вызванной повышением температуры смазки, увеличением нагрузки или уменьшением скорости, в результате которого смазка изменяет свои свойства и значительно отличается от смазки в объеме. Это объясняется тем, что коэффициент трения зависит не от вязкости, а от других факторов, объединенных ранее под названием – маслянистость. По мнению Б.В. Дерягина это способность обеспечивать лучшее смазочное действие в условиях, когда смазочная прослойка достаточно тонка и ее действие не определяется только вязкостью [4].

Термины “маслянистость” и “прочность масляной пленки”, которыми пытались охарактеризовать способность масляной пленки удерживаться на поверхностях, снижая трение и износ, а также предотвращать заедание являются неопределенными, поскольку совершенно не отражали сущности явления [5].

В реальных процессах химической коррозии металлов часто наблюдаются явления (например, нарушение сплошности пленки из-за роста внутренних напряжений), усложняющие зависимости по которым идет процесс роста пленки. Примером монотонных зависимостей может служить старение смазок, что связано главным образом с их окислением. На скорость окисления масла большое влияние оказывает его состав, который характеризует степень старения масла, протекающего со значительно меньшей интенсивностью при наличии присадок. В граничном слое порядка 10–100 нм протекают процессы фрагментации, гомогенизации приповерхностных слоев, происходят интенсивные процессы пластического течения, ведущие к текстурированию структуры. Высокие температуры, развивающиеся при трении,

способствуют протеканию диффузионных процессов, в результате чего происходит легирование поверхности, коагуляция отдельных структурных составляющих, образуются закалочные структуры. Взаимодействие металла с внешней средой, в качестве которого часто выступает смазочный материал, приводит к адсорбции и хемосорбции активных веществ, ведущих к повышению его пластичности и снижению прочности. Пределом работоспособности масляной пленки в условиях граничного трения является ее термостойкость. По существу прочность граничных (молекулярных) слоев смазки равна прочности материалов трущихся поверхностей. Нарушение масляной пленки происходит в результате ее десорбции под воздействием высоких температур трения на микроконтактах.

Мерой против этого может явиться подбор таких присадок, которые благодаря химической реакции с металлом под воздействием высоких температур или адсорбции на поверхности металла обеспечивают снижение трения и износа или предотвращение заедания поверхностей.

Теоретические предпосылки и показания к внедрению нанотехнологий для повышения надежности и эффективности эксплуатации ГМКА

Новый этап научно-технической революции, в который вступили в последние десятилетия все технические отрасли, в значительной мере коснулся трибологии и триботехники. Это проявляется в том, что вводятся в действие новые материалы пар трения; появляются машины, многие узлы трения которых, работают в экстремальных условиях; обновляются и усложняются методы поверхностного упрочнения трущихся деталей; ужесточаются экологические и санитарно-гигиенические требования к трибосистемам; в промышленности и на транспорт приходит новое поколение смазочных материалов; усложняются смазочные композиции, которые все в большей степени насыщаются присадками разнообразного функционального действия.

Последний аспект является наиболее важным в контексте введения в состав смазочных материалов трибоактивных присадок, которые часто вступают в противоречие с экологическими и санитарно-гигиеническими требованиями. Так, многие присадки, содержащие

хлор, серу и фосфор, становятся нежелательными для использования. При применении таких присадок в узлах трения возникает проблема их утилизации, а при их использовании в технологических процессах (при металлообработке) – нежелательный контакт этих продуктов с организмом человека. В некоторых случаях затраты на экологически обоснованную утилизацию смазочно-охлаждающих технологических средств сопоставимы с их покупной стоимостью.

Данный аспект обуславливает принятие строгих научно обоснованных мер по выбору материалов для присадок, отвечающих как требованиям защиты от многих видов износа и разрушения трущихся пар, так и соответствия экологическим и санитарно-гигиеническим требованиям. Необходимо проведение достаточного количества лабораторных, стендовых и натурных испытаний, исключающих нежелательные последствия от внедрения новой присадки.

Стратегической линией развития триботехники является использование самоорганизующихся трибосистем, обеспечивающих реализацию эффекта безыноносности при трении, который проще всего достигается применением металлолакирующих смазок, в качестве активных компонентов которых применяются высокодисперсные порошки металлов [6–8].

Эффективность смазочных материалов, особенно жидких, содержащих в своем составе высокодисперсные металлы, не всегда соответствуют рекламным характеристикам, что требует проведения дополнительных научных исследований, позволяющих объективно судить о триботехнических свойствах металлолакирующих смазок в различных узлах трения и управлять ими на основании сведений о механизме смазочного действия.

В связи с этим, представляется актуальным использование в качестве металлолакирующих присадок к жидким смазочным материалам нанометрических кластеров металлов, обладающих специфическими, а в ряде случаев и уникальными механическими и физико-химическими характеристиками и позволяющих получать их устойчивые композиции даже в маловязких жидкостях.

Для создания новой присадки с улучшенными моющими, антикоррозионными, противозносными характеристиками для масла МС-20, было принято решение разработать на-

носистему с использованием «эффекта малых концентраций и возмущений», автором, которого является, проф. Э.К. Шахбазов. В процессе разработки и испытаний новой наносистемы были получены присущие новым требованиям и условиям эксплуатации эффекты.

Как известно, в технике и технологии процессы самоорганизации наиболее ярко проявляются при трении, в частности, при формировании вторичных контактных структур и изнашивании. Процессы трения и изнашивания реализуются на фоне повышенных градиентных соотношений температуры, напряжений, концентрации легирующих элементов и дефектов кристаллического строения и представляют сложную совокупность физико-химических явлений. Трение и изнашивание, без сомнения, можно отнести к неравновесным термодинамическим процессам, поэтому самоорганизующиеся реакции, протекающие в них, неизбежны и обязательны [9–12].

Система, созданная из смеси ПАВ и сверхмалых металлических наночастиц, возбуждая пограничную среду переводит её из неравновесного состояния в равновесное, оказывая каталитическое воздействие, и тем самым достигая повышение температуры в системе, что в свою очередь, способствует, повышению энергии активации вязкого течения масла. При этом за счет сил Ван-дер-Ваальса, происходит самоорганизация пограничного нанометричного слоя – нано пленки, которая сохраняет прочную и взаимосвязанную стабильную структуру пограничного слоя, и не приводит к её разрушению и способствует длительному сохранению индекса вязкости.

Также между наночастицами возникает явление организованного парамагнитного резонанса (ЭПР) [13].

Таким образом, здесь наблюдается явление синергизма – суммарного усиления эффекта малых концентраций и возмущений за счет взаимного действия усиливающих факторов.

Опыт применения низкодисперсного металлолакирующего нанометричного слоя в составе смазки, показывает, что он обладает свойством наноструктурирования и самоорганизации, сохраняет прочную и взаимосвязанную стабильную структуру пограничного слоя, которая не приводит к её разрушению и способствует сохранению индекса вязкости [14–16]. Кроме того, за счет подбора оптимального состава нанометричного слоя – нано пленки, процесс

трения и износа приобретает стабильный характер, что дает возможность управлять этим процессом в течение определенного периода эксплуатации и, тем самым, предупреждать и своевременно устранять причины внезапных неисправностей и отказов элементов обеих систем ГМКА.

Выводы

Трение, упрочнение и изнашивание относятся к неравновесным термодинамическим системам, протекают по законам синергетики и самоорганизующиеся процессы есть следствие их взаимобусловленности.

Динамические процессы, сопутствующие упрочнению, трению и изнашиванию протекают в неравновесных условиях и развиваются

по законам синергетики, которые реализуются на фоне повышенных градиентных соотношений температуры, напряжений, концентрации легирующих элементов и дефектов кристаллического строения, и представляют сложную совокупность физико-химических явлений.

Нанотехнологии, по сути, явились природным катализатором этих явлений, поскольку способствовали их внедрению и ускорению на макро, микро и наноуровне. Разработанная наносистема с использованием «эффекта малых концентраций и возмущений», автором которого является, проф. Э.К. Шахбазов, показала полное соответствие реализации законов синергетики и самоорганизации в процессе создания нанометричного слоя – нано пленки в составе масла МС-20.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шахбазов Э.К., Темуров Т.И. Анализ характерных видов изнашивания элементов и пути повышения надежности систем газомоторных агрегатов для сжатия природного газа // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и в море, 2019, № 7, с. 42-47.
2. Газомоторные компрессоры типа 10 ГК. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Дизельный завод "Двигатель революции". Горький, 1981, 158 с.
3. Проников А.С. Надежность машин. – М.: Mashinostroyeniye, 1978, 592 с.
4. Дерягин Б.В. Что такое трение? "Техника", 1970, 396 с.
5. Виноградова И.Э. Присадки к маслам для снижения трения и износа. – М.: Гостоптехиздат, 1963, 111 с.
6. Качинский Р. Эффективность пар трения технического назначения: автореф. дисс. д-ра тех. наук, Белосток, 2004, 303 с.
7. Кучеров А.А. Триботехнические свойства нанометрических кластеров: автореф. дисс. канд. техн. наук, Ростов-на-Дону, 2004, 174 с.
8. Берзина Е.В. Самоорганизация присадок в граничном смазочном слое трибосопрежений машин: автореф. дисс. докт. техн. наук, Иваново, 2007, 461 с.
9. Мышкин Н.К. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии / Н.К. Мышкин, М.И. Петровец. – М.: Физматлит, 2007, 368 с.
10. Камерон А. Теория смазки в инженерном деле / А. Камерон. – М.: Mashizh, 1962, 296 с.
11. Чичинадзе А.В. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше [и др.]; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Mashinostroyeniye, 2001, 664 с.
12. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1960, 128 с.
13. Док. проф. Е.Г. Шахбазов. Neft senayesinde nanoteknologiyalar (elmi maqalalar toplusu). – Baki: Elm, 2019, 120 s.
14. Kh.B. Yusifzadeh, E.G. Shahbazov, E.A. Kazimov. Nanotechnologies in oil-gas well drilling. Baku, Publ. SOCAR, 2014, 176 p.
15. Э.К. Шахбазов, М.А. Мурзалова. "Эффект малых концентраций и возмущений" НАНО-ПАВ для процессов нефтедобычи. – Баку: Изд-во НИИНефтегаз, 2016, 40 с.
16. Пат. 120110017 Азербайджанской Республики. Способ снижения гидравлических сопротивлений в бурении. Э.К. Шахбазов, Э.А. Казимов.

REFERENCES

1. Shakhbazov E.K., Temurov T.I. Analiz kharakternykh vidov iznashivaniya elementov i puti povysheniya nadyozhnosti sistem gazomotornykh agregatov dlya szhatiya prirodnogo gaza / Stroitel'stvo nefyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i more, 2019, No 7, s. 42-47.
2. Gazomotornyye kompressory tipa 10 GK. Tekhnicheskoye opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii. Dizel'nyy zavod "Dvigatel' revolyutsii". Gorkiy, 1981, 158 s.
3. Pronikov A.S. Nadezhnost' mashin. – M.: Mashinostroyeniye, 1978, 592 s.
4. Deryagin B.V. Chto takoye treniye? "Tekhnika", 1970, 396 s.
5. Vinogradova I.E. Prisadki k maslam dlya snizheniya treniya i iznosa. – M.: Gostoptekhzdat, 1963, 111 s.
6. Kachinskiy R. Effektivnost' par treniya tekhnicheskogo naznacheniya: avtoref. diss. d-ra tekhn. nauk, Belostok, 2004, 303 s.
7. Kuchero A.A. Tribotekhnicheskiye svoystva nanometricheskikh klasterov: avtoref. diss. kand. tekhn. nauk, Rostov-na Donu, 2004, 174 s.
8. Berzina Y.V. Samoorganizatsiya prisadok v granichnom smazochnom sloye tribosopryazheniy mashin: avtoref. diss. doct. tekhn. nauk, Ivanovo, 2007, 461 s.
9. Myshkin N.K. Treniye, smazka, iznos. Fizicheskiye osnovy i tekhnicheskoye prilozheniya tribologii / N.K. Myshkin, M.I. Petrovets. – M.: Fizmatlit, 2007, 368 s.
10. Kameron A. Teoriya smazki v inzhenernom dele / A. Kameron. – M.: Mashizh, 1962, 296 s.
11. Chichinadze A.V. Osnovy tribologii (treniye, iznos, smazka) / A.V. Chichinadze, E.D. Braun, N.A. Busha [i dr.]; pod obsch. red. A.V. Chichinadze. – M.: Mashinostroyeniye, 2001, 664 s.
12. Prigochin I. Vvedeniye v termodinamiku neobratimyykh protsessov. – M.: Izd-vo inostr. lit., 1960, 128 s.
13. Dok. prof. E.G. Shahbazov. Neft senayesinde nanoteknologiyalar (elmi megalalar toplusu). – Baki: Elm, 2019, 120 s.
14. Kh.B. Yusifzadeh, E.G. Shahbazov, E.A. Kazimov. Nanotechnologies in oil-gas well drilling. Baku, Publ. SOCAR, 2014, 176 p.
15. E.K. Shahbazov, M.A. Murzalova. "Effekt malyykh koncentratsiy i vozmushcheniy" NANO-PAV dlya protsessov nefedobychi. – Baku, Izd-vo NIINeftegaz, 2016, 40 s.
16. Pat. 120110017 Aзербайджанской Республики. Способ снижения гидравлических сопротивлений в бурении. E.G. Shahbazov, E.A. Kazimov.