

зе [2]. Возможно, именно к этому периоду относится и формирование большинства антиклинальных структур, слагающих Астраханскую группу поднятий.

#### Список литературы

1. Воронин Н. И. Палеотектонические критерии прогноза и поиска залежей нефти и газа (на примере Прикаспийской впадины и прилегающих районов Скифско-Туранской платформы) / Н. И. Воронин. – Москва : Геоинформмарк, 1999. – 288 с.
2. Глумов И. Ф. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря / И. Ф. Глумов, Я. П. Маловицкий, А. А. Новиков, Б. В. Сенин. – Москва : Недра, 2004. – 342 с.
3. Пыхалов В. В. Особенности геологического строения ловушек углеводородного сырья в пределах Астраханской группы поднятий / В. В. Пыхалов, Н. Н. Гольчикова, Д. А. Коннов // Геология, география и глобальная энергия. – 2014. – № 2 (53). – С. 22–32.

#### References

1. Voronin N. I. *Paleotektonicheskie kriterii prognoza i poiska zalezhey nefi i gaza (na primere Prikaspiyskoy vpadiny i prilegayushchikh rayonov Skifsko-Turanskoy platformy)* [Paleotectonic search criteria and forecast of oil and gas (for example, of the Caspian Basin and surrounding areas Scythian-Turan platform)], Moscow, Geoinformmark Publ., 1999. 288 p.
2. Glumov I. F., Malovitskiy Ya. P., Novikov A. A., Senin B. V. *Regionalnaya geologiya i neftegazonosnost Kaspiyskogo morya* [Regional geology and petroleum potential of the Caspian Sea], Moscow, Nedra Publ., 2004. 342 p.
3. Pykhalov V. V., Golchikova N. N., Konnov D. A. *Osobemosti geologicheskogo stroeniya lovushek uglevodorodnogo syrya v predelakh Astrakhanskoy gruppy podnyatiy* [Features of geological hydrocarbon traps within groups raised the Astrakhan]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2014, no. 2 (53), pp. 22–32.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ КОМПРЕССОРА

*Кривоносов Вячеслав Александрович*

кандидат технических наук, доцент

Астраханский государственный технический университет  
414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
E-mail: Krivonosova1948@mail.ru

Рассматривается задача определения износа цилиндрической поршневой группы (ЦПГ) компрессоров, применяемых в нефтегазодобывающей промышленности. На базе теплофизических характеристик смазочного слоя, коррозионно-механических и физико-химических процессов, протекающих на трущихся поверхностях ЦПГ, осуществляется расчет износа кольца и внутренней поверхности цилиндра, что позволяет оценить остаточный ресурс этой пары трения.

**Ключевые слова:** компрессор, износ, цилиндрическая поршневая группа, ресурс, процессы

## MATHEMATICAL SIMULATION OF WEAR CYLINDER COMPRESSOR

*Krivonosov Vyacheslav A.*

C.Sc. in Technical

Associate Professor

Astrakhan State Technical University

16 Tatishchev st., Astrakhan, 414056, Russian Federation

E-mail: Krivonosova1948@mail.ru

The problem of determining the wear of the cylinder group (CPG) compressors used in the oil and gas industry. Based on the thermal characteristics of the lubricating layer, corrosion-mechanical and physico-chemical processes on the labor-ing surfaces CPG we calculate the wear ring and the inner surface of the cylinder is what allows us to estimate the residual life of the friction pair.

**Keywords:** compressor, wear, the cylinder piston group, resource, processes

В нефтегазодобывающей промышленности применяются большое количество поршневых компрессоров с высоким давлением нагнетания и большой производительностью. Ресурс которых зависит от многих факторов, среди которых большую роль играет износ цилиндропоршневой группы.

Поэтому прогнозирование состояния рабочих поверхностей поршневого кольца и цилиндра данного узла ЦПГ является важной и актуальной задачей.

В данной работе излагается методика оценки состояния трущихся поверхностей ЦПГ компрессора на базе уже известных результатов с учетом дополнительных факторов (непараллельности стенок в смазочном слое, объемной вязкости смазки и физико-химических процессов, протекающих в зоне контакта и др.).

Известно, что износ цилиндропоршневой группы компрессоров обусловлен, в основном, граничным трением. При этом в создании расчетных методов на износ необходимо учитывать следующие особенности.

1. На основе котактно-гидродинамической модели движение смазки в зоне контакта необходимо учитывать плотность смазки, которая эквивалентна некоторой средней плотности, включающая твердые микрочастицы и ее течение в микроконтакте [5].

2. Стохастическое распределение и дискретность поверхностных сил, тепловых источников, импульсивность их воздействия, высокую скорость протекания химических реакций.

3. Наличие значительных градиентов полей напряжения, деформаций, температур диффузионных процессов массопереноса.

4. Зависимость интенсивности изнашивания от кинематики контакта.

5. Высокую дефектность поверхностных приповерхностных слоев, наличие концентраторов напряжений, механотермическую активацию, возможные динамические структурные, фазовые и химические превращения, возникновение различных поверхностных соединений. Неоднородность и неизотропность свойств материала, участвующих в процессе трения и изнашивания.

6. Изменение макро и микрогеометрии трущихся тел в процессе износа.

Используя общий вид зависимости для определения изнашивания деталей при возвратно-поступательном скольжении, за основу для расчёта средней интенсивности изнашивания цилиндропоршневой группы компрессора была определена формула, предложенная в работах Ю.Н. Дроздова и Ф.М. Клемушина [2, 3].

$$I_h = K \Phi_{cm}^x \Phi_{nc}^y \Phi_{nc}^z \Phi_{nc}^{\gamma} \Phi_{nc}^{\varphi} \quad (1)$$

где  $\Phi_{cm}$  – критерий, определяющий относительную величину смазочного слоя, не параллельность стенок в смазочном слое;  $\Phi_{nc}$  – комплекс, характеризующий напряженное состояние в месте контакта поршневого кольца и цилиндра;  $\Phi_{nc}$  – комплекс, учитывающий микрогеометрию, маслоемкость, маслоудерживающую способность контакта;  $\Phi_{nc}$  – симплекс, учитывающий временные характеристики контакта;  $\Phi_{nc}$  – комплекс, характеризующий физико-химические процессы, про-

текающие на трущихся поверхностях, разрушение граничных смазочных и модифицированных материалов;  $K$  – коэффициент, учитывающий особенности эксплуатации компрессора и влияние каждого критерия с учётом не уточнённых уравнением факторов (коэффициент согласования);  $x, y, z, \gamma, \varphi$  – показатели степени, которые определяются экспериментально. Для компрессора КМ2 они составили  $x = -1.8, y = 0.8, z = 0.97, \gamma = 0.733, \varphi = 1.02$ .

Таким образом, с учетом проведенных исследований [4] уравнение (1) принимает вид:

$$I_h = K \left( \frac{\left\{ h_{mp} + 1.7h_k \left[ \frac{\mu C_u}{P_z h_k} \right]^{0.7} \cdot (P_z \beta)^{0.6} \right\}^{-1.8}}{\sqrt{R_{a1}^2 + R_{a2}^2}} \right) \left( \frac{P_z}{H_B} \right)^{0.8} \left( \frac{R_{max}}{r e^{1/v}} \right)^{0.97} \left( \frac{t_p}{t_a} \right)^{0.73} \left( \frac{RT}{Q_k} \right)^{1.02} \quad (2)$$

Полученный результат был положен в основу расчета формулы износа [1].

Расчётная формула износа имеет вид  $U = \sum_{i=1}^n \frac{I_h}{S_i} t_i$ , где  $S_i$  – площадь фактического контакта;  $t_i$  – продолжительность  $i$ -го режима работы.

Значение величины износа кольца и цилиндра в сравнении с предельными позволяет при расчетной интенсивности износа оценить остаточный ресурс ЦПГ и решить задачу диагностики.

#### Список литературы

1. Громаковский Д. Г. Разрушение поверхностей при трении и разработка кинетической модели изнашивания / Д. Г. Громаковский // Вестник машиностроения. – 2000. – № 1. – С. 3–18.
2. Кагаев В. П. Прочность и износостойкость деталей машин / В. П. Кагаев, Ю. Н. Дроздов. – Москва : Высшая школа, 1991. – 319 с.
3. Клемушин Ф. М. Применение трибологических инвариантов для расчета интенсивности поверхностного разрушения цилиндропоршневой пары двигателей внутреннего сгорания / Ф. М. Клемушин // Поверхность. Физика. Химия. Механика. – 1983. – № 1. – С. 121–124.
4. Кривонос В. А. Исследование износостойкости поршневой группы компрессоров, перекачивающих сероводородсодержащий природный газ : монография // В. А. Кривонос. – Астрахань : Триада, 2006. – 108 с.
5. Кудоров Л. В. К задаче диагностики цилиндропоршневой группы дизелей путевых машин в процессе эксплуатации / Л. В. Кудоров, А. В. Пономарев // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия. Физико-математические науки. – 2004. – № 30. – С. 166–169.

#### References

1. Gromakovskiy D. G. Razrushenie poverkhnostey pri trenii i razrabotka kineticheskoy modeli iznashivaniya [Destruction surfaces in friction and wear of the kinetic model development]. *Vestnik mashinostroeniya* [Bulletin of Mechanical Engineering], 2000, no. 1, pp. 3–18.
2. Kagaev V. P., Drozdov Yu. N. *Prochnost i iznosostoykost detaley mashin* [Strength and durability of machine parts], Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1991. 319 p.
3. Klemushin F. M. Primenenie tribologicheskikh invariantov dlya rascheta intensivnosti poverkhnostnogo razrusheniya tsilindroporshnevoy pary dvigateley vnutrennego sgoraniya [Application tribological invariants for computing intensity surface damage tsilindroporshnevoy pair of internal combustion engines]. *Poverkhnost. Fizika. Khimiya. Mekhanika* [Surface. Physics. Chemistry. Mechanics], 1983, no. 1, pp. 121–124.
4. Krivosov V. A. *Issledovanie iznosostoykosti porshnevoy gruppy kompressorov, perekachivayushchikh serovodorodsoderzhashchiy prirodnyy gaz* [Investigation of wear resistance piston compressors siphoned hydrogen sulfide gas], Astrakhan, Triad Publ., 2006. 108 p.

5. Kuduyurov L. V., Ponomarev A. V. K zadache diagnostiki tsilindroporshnevoy gruppy dizeley putevykh mashin v protsesse ekspluatatsii [On the problem of diagnosis of diesel engine cylinder group track machines in operation]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Fiziko-matematicheskie nauki* [Bulletin of the Samara State Technical University. Series. Physics and Mathematics], 2004, no. 30, p. 166–169.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ ТИОЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕДИАТОРОВ**

*Кудрявцев Даниил Александрович*  
студент

Астраханский государственный технический университет  
414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

*Шинкарь Елена Владимировна*  
доктор химических наук, профессор

Астраханский государственный технический университет  
414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

*Берберова Надежда Титовна*  
доктор химических наук, профессор

Астраханский государственный технический университет  
414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
E-mail: littleboot@bk.ru

Исследования посвящены разработке энергосберегающего способа получения циклических тиолов на основе циклоалкенов и сероводорода в присутствии электромедиаторов.  $H_2S$  входит в состав природного и попутного нефтяного газа, газового конденсата, является побочным продуктом некоторых технологических процессов. Производство элементарной серы по методу Клауса, необходимое для утилизации  $H_2S$ , обладает рядом существенных недостатков и является малорентабельным. Технология процесса постоянно совершенствуется, но его экономическая эффективность низка ввиду незначительной стоимости серы на мировом рынке. В связи с вышесказанным перспективно вовлекать сероводород  $H_2S$  в роли тиолирующего агента в синтез практически полезных сераорганических веществ. Медиаторы различной природы предложено использовать для активации  $H_2S$  до нестабильного катион-радикала, способного к фрагментации с отрывом протона. По сравнению с прямым способом электрохимической активации  $H_2S$  достигнуто значительное снижение энергозатрат на проведение электросинтеза циклоалкантиолов, широко применяемых в промышленности, сельском хозяйстве и медицине.

**Ключевые слова:** сероводород, циклоалкены, органическая электрохимия, электромедиаторы, синтез, циклоалкантиолы, активация, регенерация, механизм реакции