

ШАРИФОВ Д.А. (Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, Душанбе, Таджикистан)

ХАЛИЛОВ И.Х. (Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, Душанбе, Таджикистан)

НАЖМУДИНОВ Ш.З. (Академия наук Республики Таджикистан, Душанбе, Таджикистан)

ЮНУСОВ М.Ю. (Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, Душанбе, Таджикистан)

БАДАЛОВ А. (Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, Душанбе, Таджикистан)

ТОШЕВ М.А. (Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, Душанбе, Таджикистан)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПАРООБРАЗОВАНИЯ МОТОРНОГО МАСЛА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Минимизация нарушения естественного баланса между вопросами ускорения научно-технического прогресса и реальным внедрением высокоэффективной техники и технологии с применением соответствующих материалов достигается проведением систематических исследований с получением необходимых сведений о характеристиках, параметрах и физико-химических свойствах материалов. В связи с этим обеспечение ускорения научно-технического прогресса с применением современной техники, технологии и материалов, с учетом соблюдения естественного баланса в природе является актуальной задачей.

Рассматривается вопрос исследования парообразования с использованием метода тензиметрии с мембранным нуль-манометром в диапазоне температур 370–600 К (на примере моторного масла М-10Г₂). На основе зависимости давления пара от температуры построена барограмма процесса парообразования моторного масла, показывающая сложную схему парообразования и ступенчатость в искомом интервале температур, а также соответствующую динамику в каждой ступени. Получены термодинамические параметры, характеризующие энтальпию, энтропию и энергию Гиббса дизельного масла М-10Г₂.

Ключевые слова: термодинамические параметры, температура, энтальпия, энтропия, энергия Гиббса, карьерная техника, парообразование.

Введение

Вопросы обеспечения ускорения научно-технического прогресса с применением высокоэффективной современной техники, технологии и материалов, отвечающих эксплуатационным условиям, с учетом соблюдения естественного баланса в природе являются постоянно актуальными.

Для обеспечения минимизации нарушения естественного баланса между вопросами ускорения научно-технического прогресса и реальным внедрением высокоэффективной техники и технологии с применением соответствующих материалов необходимы систематические исследования и пополне-

ние сведений о физико-химических свойствах материалов.

Обоснование темы

Одним из важных направлений и резервов повышения технико-экономических и экологических показателей, используемых и проектируемых в настоящее время в мире горных машин и карьерной техники (ГМ и КТ), являются исследование и совершенствование свойств масел и смазок, применяемых в гидросистемах, двигателях внутреннего сгорания (ДВС), ответственных узлах и других трущихся поверхностях упомянутой техники.

Долговечность и надежность работы ДВС весьма ощутимо влияют на коэффициент готовности и в целом на тех-



нико-экономические и экологические показатели ГМ и КТ. Значения упомянутых показателей во многом определяются условиями эксплуатации ГМ и КТ, испытывающих высокие нагрузки, приводящие к большим перепадам термодинамических параметров (температуры и давления), а также частым использованием сернистого топлива с активным попаданием частиц сажи и несгоревшего топлива в картер и во впускной коллектор (выхлопные газы, содержащие сернистую и серную кислоту и частицы сажи) ДВС [1–10]. В связи с этим при выборе масел, в том числе для дизельных ДВС, особое внимание уделяется вязкостно-температурным свойствам, необходимым диапазонам рабочих температур, термической и окислительной стабильности и другим стандартным требованиям безопасности [1, 2, 11–21]. В зависимости от условий эксплуатации в рабочей среде масел генерируются высокие температуры, достигающие значений 150–200 °С, а на стадии кипения и процесса парообразования (ПП) температура моторного масла достигает 250–260 °С, из-за чего уже на верхнем пределе допускаемой температуры начинается понижение вязкости масла и, как следствие, теряется качественное смазывание деталей ДВС (масляная пленка становится недопустимо тонкой), уменьшаются размеры допускаемых зазоров между деталями и узлами, в результате чего происходит повреждение механизма, а на отметке температуры 125 °С масло будет гореть вместе с топливом, после того как обойдет поршневые кольца, и т.д. Не менее важной является и температура застывания масла – температура, при которой масло перестает быть тягучим и подвижным, резко увеличивается его вязкость и начинается процесс кристаллизации парафина (более твердая консистенция и меньшая

пластичность из-за выделения углеводородных компонентов). От температуры застывания (замерзания) масла зависят пусковые свойства ДВС (т.е. температура гарантированного пуска двигателя, которая должна быть ниже на 5–10 °С температуры запуска ДВС), что также существенно влияет на эксплуатационные показатели ГМ и КТ.

Таким образом, обусловливается фундаментальная значимость вопросов исследования термической устойчивости дизельных моторных масел, в том числе определения характера и термодинамических параметров ПП масел для современных дизельных ДВС ГМ и КТ, испытывающих высокие нагрузки – длительное время работы в значительном тепловом режиме, применение сернистых дизельных топлив и т.д.

Вопросам установления диапазонов термической устойчивости моторных масел и техники измерения температурных параметров посвящен ряд работ [22–29], которые способствуют: научно обоснованному подбору моторных масел в зависимости от условий их эксплуатации; обеспечению надежности работы ДВС ГМ и КТ; снижению затрат на единицу выполняемых работ. Однако, несмотря на достижение определенных результатов в области исследования физико-химических свойств и улучшение диапазонов рабочих температур дизельных масел для ДВС с учетом обоснования термодинамических параметров и практического их применения, вопрос обеспечения улучшения упомянутых показателей остается приоритетным, о чем свидетельствуют положительные результаты работ [12, 16].

В связи с изложенным полагаем целесообразным провести исследования ПП как одного из важных свойств капельных жидкостей изменять свое агрегатное со-

стояние на газообразное, зависящее от температуры, давления и содержащее стадии испарения и кипения. Нами проведены исследования ПП дизельного масла марки М-10Г₂ (ГОСТ 8581–78), используемого соответственно для зимней и летней эксплуатации автотракторных дизелей без наддува или с невысоким наддувом, срок смены которого в 1,5–2 раза меньше чем дизельных масел марок ЛУКОЙЛ-8-ДМ/ЛУКОЙЛ-10-ДМ и ЛУКОЙЛ-СУПЕР. Исследование ПП проведено в изохорических и равновесных условиях с использованием метода тензиметрии с мембранным нульманометром [30]. Метод широко применяется при исследовании термической устойчивости различных химических соединений [31, 32].

Для достижения равновесной системы каждая изотермическая точка на кривой зависимости давления пара от температуры (далее – барограмма) выдерживалась в течение 20–24 ч до достижения неизменности давления в течение

двух часов. Исследование проведено в двух режимах: *а* – без предварительной откачки исследуемого масла и *б* – с предварительной его откачкой. Откачка масла из мембранной камеры производилась в течение двух часов при комнатной температуре.

Графическая интерпретация результатов исследования, проведённого в интервале температур 300–600 К, показывает, что кривая барограммы ПП состоит из пяти (*а*) и четырёх (*б*) ступеней (рис. 1). При предварительной откачке (*б*) масла, происходит удаление поглощенной влаги и других газов, которое соответствует первой ступени режима (*а*). Данная ступень протекает при температурах ниже 370 К. Последующие стадии ПП масла, барограммы которых совпадают для (*а*) и (*б*), протекают в следующих интервалах температур: от 370 до 455 К; от 470 до 520 К; от 525 до 575 К и от 580 до 600 К.

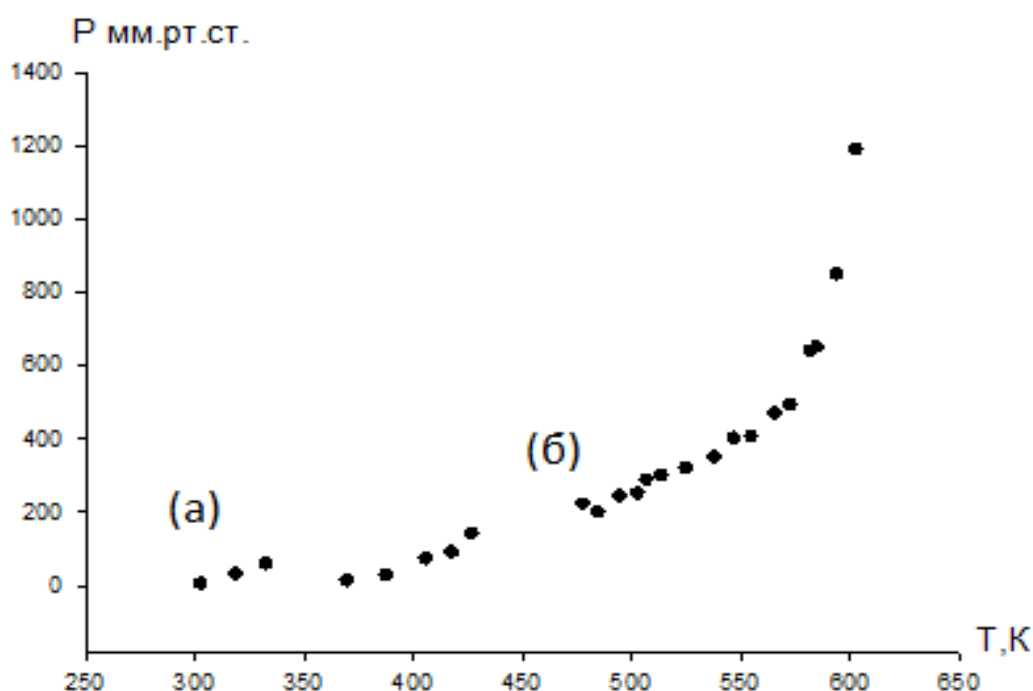


Рис. 1. Барограмма процесса парообразования масла марки М-10Г₂

Барограммы ПП масла, полученные при его прямом (нагревание) и обратном (охлаждение) ходах, не совпадают, даже при многократном увеличении времени выдержки (более чем 70 ч). Этот факт свидетельствует о необратимости характера процесса термической деструкции исследуемого вещества. Обработанное таким образом масло приобретает более тёмную окраску по сравнению с исходным образцом. Экспериментальные данные для каждой ступени процесса парообразования исследованного масла, приведенные в виде зависимости $\lg P$ от об-

ратной температуры, обработаны отдельно (рис. 2). Обработка произведена по методу наименьших квадратов с использованием значения t – коэффициента Стьюдента [33] при 95%-ном доверительном интервале.

По полученным уравнениям прямых линий рассчитаны термодинамические брутто параметры: энтальпия (ΔH , кДж/моль), энтропия (ΔS , Дж/моль·К) и энергия Гиббса (ΔG , кДж/моль) всех ступеней ПП исследуемого масла, которые приведены в табл. 1.

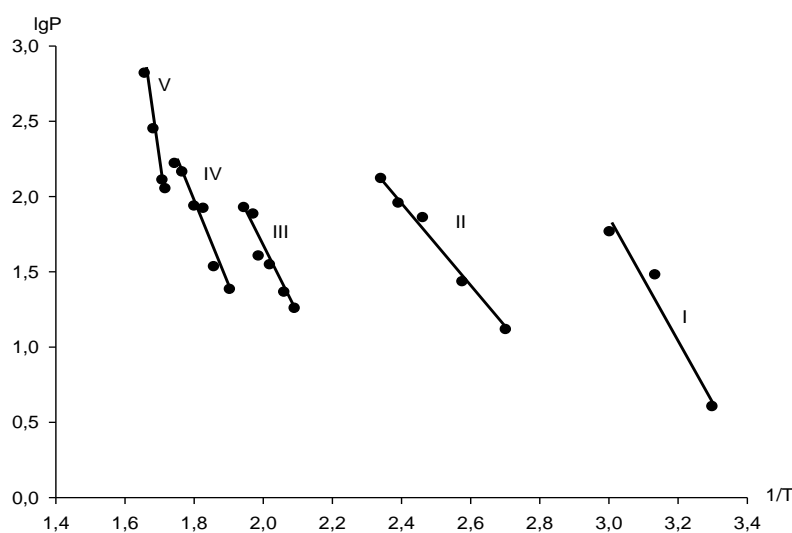


Рис. 2. Зависимость $\lg P$ от обратной температуры ступеней процесса парообразования

Таблица 1

Уравнения барограмм и термодинамические параметры ступеней ПП масла М-10Г₂

Ступени	ΔT , К	Уравнение		Термодинамические параметры		
		$\lg P_{\text{ат}} = B - A \cdot 10^3 / T$		ΔH_T^0 , кДж/моль	ΔS_T^0 , Дж/моль·К	ΔG_{298}^0 , кДж/моль
		A	B			
I	300 – 370	$3,96 \pm 0,04$	$10,87 \pm 0,08$	$18,1 \pm 0,2$	$49,7 \pm 0,4$	$3,15 \pm 0,2$
II	370 – 455	$2,81 \pm 0,05$	$5,83 \pm 0,09$	$12,9 \pm 0,2$	$26,7 \pm 0,4$	$5,1 \pm 0,2$
III	470 – 520	$4,68 \pm 0,04$	$8,14 \pm 0,08$	$21,4 \pm 0,1$	$37,2 \pm 0,4$	$10,4 \pm 0,3$
IV	525 – 575	$5,56 \pm 0,06$	$9,07 \pm 0,13$	$25,4 \pm 0,2$	$41,5 \pm 0,5$	$12,9 \pm 0,2$
V	580 – 600	$13,07 \pm 0,11$	$21,59 \pm 0,21$	$59,8 \pm 0,5$	$98,7 \pm 0,6$	$30,2 \pm 0,5$

Примечание: в табл. 1 – A и B – безразмерные коэффициенты уравнения барограмм, определенные из графика (рис. 2)

Известно, что при образовании одной моли парообразного вещества энтропия системы возрастает и её изменение составляет в среднем $\Delta S^0 \approx 22$ Дж/моль·К. Исходя из значений изменения энтропии ΔS отдельных стадий, можно предполагать, что ПП исследованного масла протекает по сложной схеме. На первой стадии выделяются две моли парообразных веществ, на второй – одна моль, на третьей и четвертой – полторы моли и на пятой – четыре моли продуктов парообразования. По значению стандартной энергии Гиббса (формула $\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0$) можно определить начальную температуру самопроизвольного протекания отдельных стадий процесса. Этому состоянию соответствует нулевое значение энергии Гиббса, т.е. $\Delta G^0 = 0$.

Заключение

На основании аналитических и графических интерпретаций результатов исследования с использованием вышеприведенных методов и тензиметрических опытов обуславливаются следующие выводы:

1. ПП моторного масла марки М-10Г₂ протекает по сложной схеме и в интервале температур $T = 300 - 600$ К состоит из пяти ступеней (табл. 1):

- динамика изменения величин термодинамических параметров в интервалах температур от 370–455 К до 580–600 К (со II по V ступени) определялась следующими значениями: рост энтальпии ΔH_T^0): с II на III ступени составил 65,9 %; с III на IV – 18,7 %; с IV на V – 235,4 %; рост величин энтропии ΔS_T^0) и энергии Гиббса ΔG_{298}^0 на рассматриваемых температурных ступенях соответственно составил: 39 %, 11,6 %, 238 %; 203,9 %, 124 %; 34 %;

- при эксплуатации моторного масла марки М-10Г₂ в диапазоне температур 550–600 К происходит необратимый процесс его термической деструкции.

2. Полученные результаты исследований ПП на примере моторного масла М-10Г₂ пополняют и расширяют базу данных термодинамических характеристик дизельных масел, благодаря которым появится возможность для улучшения и реформулирования продуктов групп масел Г₂ или им подобных, тем самым в будущем расширится ассортимент продуктового портфеля масел и смазок, увеличится сегмент продаж импортозамещающей продукции не только в России, но и в пространстве стран СНГ.

3. Дальнейшее исследование динамики изменения термодинамических параметров, а также физико-химических свойств масел, применяемых при эксплуатации ГМ и КТ и другой техники в тяжелых горно-геологических и климатических условиях, является приоритетной задачей, что является предметом дальнейших наших исследований.

Библиографический список

- ГОСТ 8581–78. Межгосударственный стандарт. Масла моторные для автотракторных дизелей. Технические условия.
- Государственные стандарты СССР / Нефтепродукты: Топлива. Битумы. Парафины. Растворители. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 312 с.
- Цербе Г., Вильгельм Г. Техническая термодинамика. Теоретические основы и практическое применение: Учеб. Пер. с немец. – Астана: Изд-во «Фолиант», 2015. – 540 с.
- Нажмудинов Ш.З. Анализ эксплуатационных возможностей карьерных горных машин и задачи оптимизации их параметров // Вестник Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими. – 2014. – № 1(25). – С. 28-30.
- Tesner P.A., Shuzupov S.V. // Combust. Sci. and Tech., 1995, vol. 105.
- Chem. Week, 1955, v. 76, №4, p.54.
- Chapman D.L. // Phil. Mag., 1899. V. 47, 90.

8. Jouquet E. // Math. 1995. 347.
9. Cannon H.L. and Bowles J.M. // Science, 1962, V. 137, Pp. 765-769.
10. Сах R.A. // Aerosol Science, V.A., 1973. Pp. 473 - 481.
11. Еще один шаг вперед. Новое масло Shell Rimula R4 Multi (CI-4) // Горная техника: каталог-справочник. – 2014. – Вып. №2(14). – С. 55.
12. Галкина В.В., Окружнов В.А. Масла для дизельных двигателей // Горная промышленность. – 2001. – № 4. – С. 29-31.
13. International Fuel Quality Standards and Their Implications for Australian Standards Houston: Hart Energy Research and Consulting, 2014. 175 p.
14. Srivastava, S.P., Hancsok, J. Fuels and Fuel-Additives. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2014. – 376 p.
15. Oil and Gas Y., 1994, V. 82, № 7. P. 51.
16. Бизнес масел ЛУКОЙЛ: Позитивные итоги // УГОЛЬ. – 2018. – № 2. – С.24.
17. Adkins C.J. Equilibrium thermodynamics. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
18. Devoe H. Thermodynamics and chemistry Upper Saddle River (New Jersey): Prentice Hall, 2001.
19. McGlashan M.L. Chemical thermodynamics, L.: Academic Press, 1979.
20. McQuarrie D.A. Molecular thermodynamics. Sausalito (California): University Science Book, 1999.
21. Wood S.E., Battino R. Thermodynamics of chemical systems. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
22. Кламанн Д. Смазки и родственные продукты: Синтез. Свойства. Применение. Пер. с англ. / Д. Кламанн; ред. Ю. С. Заславский. – М.: Химия, 1988. – 488 с.
23. Чичинадзе А.В. и др. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учеб. для техн. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.
24. Хебда М., Чичинадзе А.В. Справочник по триботехнике. Том 1: Теоретические основы. В 3-х т. – М.: Машиностроение, 1989. – 400 с.
25. Юнусов М. Физико-химические основы утилизации отработанных смазочных материалов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Душанбе, 2006. – 22 с.
26. Юнусов М., Бердиев А.Л., Мирон Б.К. Интенсивность старения моторного масла карьерных самосвалов в условиях эксплуатации в автотранспортных тоннелях // Материалы респ. науч.-практ. конф. «Достижение инновационной технологии композиционных материалов и сплавов для машиностроения», 3-4 января 2014 г. – Республика Таджикистан, Душанбе. – С. 32-34.
27. Суворов А.В. Термодинамическая химия парообразного состояния. – Л.: Химия, 1970. – 204 с.
28. Hofmann D.: Temperaturmessungen und Temperaturregelungen mit Berührungsthermometern. Berlin: VEB Verlag Technik, 1977.
29. Хофманн Д. Техника измерений и обеспечение качества: Справочная книга / Пер. с нем.; под ред. Л.М. Закса, С.С. Кивилиса. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.
30. Жарский И.М., Новиков Г.И. Физические методы исследования в неорганической химии. – М.: Высшая школа, 1988. – 271с.
31. Салимджанов С., Курбанов Ф.С., Сафаров Ф.М., Бадалов А. Основные влияющие факторы и термодинамический анализ процесса набухания кокковых оболочек // Вестник Таджикского технического университета. – 2014. – №3(27). – С. 36-40.
32. Хамидов Ф.А., Мирсаидов У.М., Бадалов А. Термическое разложение нитратов тория (IV) и урана (VI) // Доклады АН РТ, 2014. – Т. 57. – № 4. – С. 304-308.
33. Гордон А., Форд Р. Спутник химика. – М.: Мир, 1976. – 541 с.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2018, No. 1, pp. 99-104

Title:	STUDY OF DIESEL OIL VAPORIZATION PROCESS
Author 1:	Name & Surname: D.A. Sharifov Company: Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi Address: 10, Str. academicians Radzhabov, Dushanbe, Republic of Tajikistan, 734042 Contacts: Sharifov.mexroj@mail.ru
Author 2:	Name & Surname: I.Kh. Khalilov Company: Technical University named after academician M.S. Osimi Address: 10, Str. academicians Radzhabov, Dushanbe, Republic of Tajiki-

	stan, 734042 Contacts: khalillov75@mail.ru
Author 3:	Name & Surname: Sh.Z. Nazhmudinov Company: Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan Address: 33, Rudaki Avenue, Dushanbe, Republic of Tajikistan, 734025 Scientific Degree: Candidate of Engineering Sciences Contacts: Najmiddinovsh2018@mail.ru
Author 4:	Name & Surname: M.Y. Yunusov Company: Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi Address: 10, Str. academicians Radzhabov, Dushanbe, Republic of Tajikistan, 734042 Scientific Degree: Candidate of Engineering Sciences
Author 5:	Name & Surname: A. Badalov Company: Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi Address: 10, Str. academicians Radzhabov, Dushanbe, Republic of Tajikistan, 734042 Scientific Degree: Dr. Sc., Professor of the "General and inorganic chemistry" Contacts: badalovab@mail.ru
Author 6:	Name & Surname: M.A. Toshev Company: Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi Address: 10, Str. academicians Radzhabov, Dushanbe, Republic of Tajikistan, 734042 Contacts: Mirzo.toshev@mail.ru
DOI:	10.17073/2500-0632-2018-1-99-104
Abstract:	Applying scientific-research findings in practice requires systematic studying characteristics, parameters, and physical and chemical properties of materials. The paper is devoted to the study of vaporization using tensimetry method with diaphragmatic manometer in temperature range of 370–600 K (using the example of M-10G ₂ diesel oil). Based on the dependence of vapor pressure on temperature, barogram of diesel oil vaporization was built, showing a complicated scheme of vaporization and stepping in the desired temperature range, as well as the corresponding dynamics in each stage. Thermodynamic parameters characterizing enthalpy, entropy and Gibbs energy of M-10G ₂ diesel oil have been obtained.
Keywords:	thermodynamic parameters, temperature, enthalpy, entropy, Gibbs energy, open pit machinery, vaporization.
References:	<ol style="list-style-type: none"> 1. GOST 8581–78. Mezhdgosudarstvennyj standart. Masla motornye dlja avto-traktornyh dizelej. Tehniceskie uslovija [<i>Interstate standard. Motor oils for automotive diesel engines. Technical conditions</i>]. 2. Gosudarstvennye standarty SSSR. Nefteprodukty: Topliva. Bitумы. Parafiny. Rastvoriteli. [<i>USSR State Standards / Petroleum Products: Fuels. Bitumens. Paraffin. Solvents</i>]. Publ. Standards, Moscow, 1977, 312 p. 3. Cerbe G., Wilhelm G. Tehniceskaja termodinamika. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primenenie: Ucheb. [<i>Technical thermodynamics. Theoretical bases and practical application: Textbook</i>] Trans. from German. Astana, PH "Foliant", 2015, 540 p. 4. Nazhmudinov Sh.Z. Analiz jekspluatacionnyh vozmozhnostej kar'ernyh gornyh mashin i zadachi optimizacii ih parametrov [<i>Analysis of the operational capabilities of mining mines and the optimization of their parameters</i>]. Bulletin of the Tajik Technical University. acad. M.S. Osimi, 2014, no. 1(25), pp. 28-30. 5. Tesner P.A., Shuzupov S.V. Combust. Sci. and Tech., 1995, vol. 105. 6. Chem Week, 1955, v. 76, no. 4, p. 54. 7. Chapman D.L. Phil. Mag., 1899. V. 47, 90. 8. Jouquet E. Math, 1995, 347.



9. Cannon H.L. and Bowles J.M. *Science*, 1962, vol. 137, pp. 765-769.
10. Cax R.A. *Aerosol Science*, V.A., 1973, pp. 473-481.
11. Eshhe odin shag vpered. Novoe maslo Shell Rimula R4 Multi (CI-4) [*One more steps forward. New oil Shell Rimula R4 Multi (CI-4)*]. Mining equipment: directory-directory, issue 2(14), 2014, p. 55.
12. Galkina V.V., Okruzhnov V.A. Masla dlja dizel'nyh dvigatelej [*Oils for diesel engines*] Mining, 2001, no. 4, pp. 29-31.
13. Int. Fuel Quality Standards and Their Implications for Australian Standards Houston: Hart Energy Research and Consulting, 2014, 175 p.
14. Srivastava S.P., Hancsok J. *Fuels and Fuel-Additives*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2014, 376 p.
15. Oil and Gas Y., 1994, vol. 82, no. 7, pp. 51.
16. Biznes masel LUKOIL: Pozitivnye itogi [*BUSINESS OILS LUKOIL: Positive results*] COAL, 2018, no. 2, p. 24.
17. Adkins C.J. *Equilibrium thermodynamics*. 3rd ed. Cambridge, Cambridge University Press, 1983.
18. Devoe H. *Thermodynamics and chemistry* Upper Saddle River (New Jersey), Prentice Hall, 2001.
19. McGlashan M.L. *Chemical thermodynamics*, L., Academic Press, 1979.
20. McQuarrie D.A. *Molecular thermodynamics*. Sausalito (California), University Science Book, 1999.
21. Wood S.E., Battino R. *Thermodynamics of chemical systems*. Cambridge, Cambridge University Press, 1990.
22. Klamann D. Smazki i rodstvennye produkty: Sintez. Svojstva. Primenenie [*Lubricants and related products: Synthesis. Properties. Application*]. Trans. from English D. Klamann; Ed. S.S. Zaslavsky. Moscow, Chemistry, 1988, 488 p.
23. Chichinadze A.V., et al. Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka): Ucheb. dlja tehn. vuzov. [*Fundamentals of tribology (friction, wear, lubrication) Textbook for tech. uni.*]. 2nd ed. revised and enlarged. Moscow, Mechanical Engineering, 2001, 664 p.
24. Hebda M., Chichinadze A.V. Spravochnik po tribotehnike. Tom 1: Teoreticheskie osnovy. [*Handbook of tribotechnics. Vol. 1: Theoretical Foundations*]. In 3 vol.. Moscow, Mechanical Engineering, 1989, 400 p.
25. Yunusov M. Fiziko-himicheskie osnovy utilizacii otrabotannyh smazochnyh materialov [*Physicochemical basis for the utilization of used lubricants*]. Author's abstract. ... dis. cand. tech. sciences. Dushanbe, 2006, 22 p.
26. Yunusov M., Berdiev A.L., Mirov B.K. Intensivnost' starenija motornogo masla kar'ernyh samosvalov v uslovijah jekspluatacii v avtotransportnyh tunneljah [*The intensity of aging of engine oil in quarry dump trucks in conditions of operation in road tunnels*]. Materials of the republ. sci. and pract. conf. "Achievement of innovative technology of composite materials and alloys for mechanical engineering", January 3-4, 2014, Republic of Tajikistan, Dushanbe, pp. 32-34.
27. Suvorov A.V. Termodinamicheskaja himija paroobraznogo sostojanija [*Thermodynamic chemistry of the vapor state*]. Leningrad, Chemistry, 1970, 204 p.
28. Hofmann D. *Temperaturmessungen und Temperaturregelungen mit Berührungsthermometern*. Berlin, VEB Verlag Technik, 1977.
29. Hofmann D. Tehnika izmerenij i obespechenie kachestva: Spravochnaja kniga [*Measurement technique and quality assurance: Reference book*] Trans. from German, ed. L.M. Zaksa, S.S. Kivilis. Moscow, PH "Energoatomizdat", 1983, 472 p.
30. Zharskiy I.M., Novikov G.I. Fizicheskie metody issledovanija v neorganicheskoj himii [*Physical methods of research in inorganic chemistry*]. Moscow, Vishay shkola, 1988, 271 p.
31. Salimdzhyanov S., Kurbanov FS, Safarov FM, Badalov A. Osnovnye vlija-



jushhie faktory i termodinamicheskij analiz processa nabuhanija kokonnyh obolochek [*Main influencing factors and thermodynamic analysis of the swelling process of cocoon shells*] Bulletin of the Tajik Technical University, 2014, no. 3(27), pp. 36-40.

32. Khamidov FA, Mirsaidov UM, Badalov A. Termicheskoe razlozhenie nitratov torija (IV) i urana (VI) [*Thermal decomposition of thorium (IV) nitrate and uranium (VI)*]. Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, 2014, vol. 57, no. 4, pp. 304-308.

33. Gordon A., Ford R. Sputnik himika [*The chemist's companion*]. Moscow, Mir, 1976, 541 p.