

УДК 662.61.074:665.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ ПЕЧНЫХ ГОРЕЛОК

**Катин В.Д., Ахтямов М.Х., Криштон В.В., Березуцкий А.Ю.**

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения,  
Хабаровск, e-mail: KatinVD@mail.ru*

В статье дан анализ экологической эксплуатации существующего парка горелочных устройств на примере Хабаровского и Ачинского НПЗ. Выявлены и показаны конструктивные и эксплуатационные недостатки действующих горелок ГИК-2, ГП-2, ГЭВК-500 и других типов. Разработаны практические принципы по реконструкции горелочных устройств для повышения эффективности одновременного совместного сжигания нефтезаводских газов и мазута в одном корпусе горелок, которые используются в проектной практике и в реальных заводских условиях. Приведены результаты экологических исследований горелок различных типов и выявлены по критерию токсичности и уровню шума наиболее рациональные конструкции горелочных устройств диффузионного принципа сжигания топлива. Рекомендованы к внедрению на заводах новые и модернизированные газомазутные горелки, имеющие достаточно высокую экологическую эффективность и защищенные патентами на изобретения.

**Ключевые слова:** нефтеперерабатывающий завод, трубчатая печь, малотоксичное и мал шумное горелочное устройство, сжигание, нефтезаводские газы, мазут, продукты сгорания, уровень шума, критерий токсичности

## RESEARCH OF EXISTING FURNACE BURNERS AND DEVELOPMENT OF NEW EFFICIENT ONES

**Katin V.D., Akhtyamov M.K., Krishtop V.V., Berezutskiy A.Y.**

*Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: KatinVD@mail.ru*

The article analyzes the environmental exploitation of the existing fleet of burners on the example of Khabarovsk and Achinsk refineries. Revealed and show structural and operational deficiencies of existing burners NEC-2, Unit 2, GEVK-500 and other types. Develop practical principles for the reconstruction of burners to improve efficiency at the same time co-incineration of refinery gas and fuel oil burners in the same housing, which are used in design practice and in real industrial conditions. The results of the environmental studies burners of various types and identified by the criterion of toxicity and noise most rational design of burners principle of diffusion combustion. Recommended for implementation on new and upgraded plants Oil-gas burners, having a sufficiently high environmental performance and protected by patents for inventions.

**Keywords:** oil refinery, tube furnace, low toxicity and low noise burner device, burning, refinery gases, fuel oil, combustion products, the noise level, the criterion of toxicity

Современные технологии создают экологический риск. В последнее время наиболее остро обозначился вопрос обеспечения экологической безопасности различных производств, включая нефтеперерабатывающие. В связи с этим сформулированные в действующем Законе РФ «Об охране окружающей среды» жесткие экологические требования к техническим устройствам и оборудованию становятся доминирующими.

В этих условиях решение проблемы повышения экологической безопасности нефтеперерабатывающих производств требует от специалистов строго научного подхода, разработки четких научно обоснованных нормативов, методов и эффективных средств контроля, точной оценки степени и характера негативного влияния тех или иных техногенных факторов на состояние окружающей среды, в том числе выбросов вредных веществ в атмосферу и шумового загрязнения. Для ученых – это исследование, обоснование и разработка малотоксич-

ных и бесшумных устройств с дальнейшим внедрением их в производство, а для практиков – осуществление на деле шумозащитных и воздухоохраных мероприятий, направленных на уменьшение загрязнения окружающей среды. В настоящее время перспективность новых технологий должна представляться в обязательном порядке с учетом взаимосвязанных с ними негативных экологических последствий: шумового воздействия и загрязнения токсичными продуктами сгорания окружающей среды.

На нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) эксплуатируются тысячи технологических печей, работающих на жидком и газообразном топливе. В составе печей эксплуатируются десятки тысяч горелочных устройств (ГУ) различной конструкции, являющихся мощными источниками загрязнения воздуха и шума при их работе. По данным исследований [3, 4, 6], уровни шума и выбросы вредных веществ в значительной мере определяются организацией

метода сжигания топлива, конструкцией и компоновкой ГУ на печных агрегатах, а также их тепловой мощностью и видом сжигаемого топлива.

На протяжении многих лет выпускаемые отечественные стандартные ГУ, в основном конструкции ВНИИнефтемаша, считались универсальными и применялись в различных печах без учета специфических особенностей самих тепловых агрегатов и условий их работы (вида сжигаемого топлива, состава нефтезаводских газов и др.). Понятно, что каждый тип горелки, в свою очередь, также характеризуется своими конструктивными и эксплуатационными особенностями. Очевидно, что качество ГУ может быть оценено только в совокупности с топочным устройством печи, так как конструкция топки предопределяет компоновку горелок (на стенах или на поду), их взаимное расположение, взаимодействие отдельных факелов горелок, время пребывания продуктов горения в топочном объеме и интенсивность их охлаждения. В то же время конструкцией ГУ в значительной степени определяется качество подготовки топливовоздушной смеси, скорость протекания реакции горения, формирование температурного поля факела, а также распределение локальных концентраций окислителя и горючего в факеле и продуктах горения. Все названные факторы оказывают в той или иной мере влияние на создаваемый шум при работе ГУ и образование вредных веществ в дымовых газах.

Однако до сих пор в проектной практике и на НПЗ при замене вышедших из строя ГУ выбор типа горелки для печи зачастую осуществляется факторами технологического и теплотехнического характера, т.е. из соображений создания необходимого по регламенту теплообмена в топке агрегата без какого-либо учета современных экологических требований. Это объясняется тем, что подбор ГУ и анализ схем их размещения на печах на стадии проектирования детально не прорабатывается, а паспорта существующих горелок, как правило, не содержат нужной для эксплуатационного персонала информации по экологическим параметрам работы: уровню создаваемого шума и выбросу загрязняющих веществ. Одной из важнейших проблем, возникающих при проектировании различных печных агрегатов, является разработка высокоэффективных ГУ, отвечающих экологическим требованиям минимального выброса токсичных веществ с продуктами сгорания топлива и бесшумной работы. В работах [3, 5] изучены в заводских условиях возможности и особенности совместного сжигания то-

пливных газов и мазута в комбинированных отечественных ГУ типа ГЭВК-500 и ГИК-2.

Результаты показали, что возможности совместного одновременного сжигания обоих видов топлива в одном корпусе для данных горелок конструкции ВНИИнефтемаша ограничены вследствие нарушения условий смесеобразования. Так, например в комбинированных горелках типа ГЭВК-500, запроектированных для оснащения трубчатых печей НПЗ, при эксплуатации наблюдается попадание мазутных капель в газовые сопла. В результате этого закоксовываются их отверстия и нарушается совместное горение газа и мазута в одном корпусе горелки. Основной причиной подобного нарушения одновременного сжигания газообразного и жидкого топлива является неудачное расположение в одной камере горелки ее газовой части и мазутной форсунки.

Аналогичный конструктивный недостаток имеется и у инжекционных горелок типа ГИК-2, эксплуатируемых на ряде НПЗ. Здесь также главной причиной нарушения нормальной работы ГУ можно назвать близкое расположение зоны воспламенения мазута и газа, когда выходящие струи газообразного топлива деформируют поток распыленного жидкого топлива, в результате чего ухудшаются условия для распыливания мазута и перемешивания его паров с воздухом.

Для повышения эффективности совместного одновременного сжигания нефтезаводских газов и мазута в одном корпусе ГУ следует рекомендовать разработанные авторами принципы, которые могут быть положены в основу реконструкции традиционных газомазутных горелок. Прежде всего, необходима организация двухступенчатого подвода воздуха для сжигания мазута и газа, что достигается путем расчленения общей амбразуры горелки на две амбразуры: отдельно для мазута и отдельно для газа, так называемая двойная расчлененная амбразура. Благодаря указанному принципу реконструкции можно усовершенствовать ряд отечественных горелок ВНИИнефтемаша (ГИК-2, ГЭВК-500, ГТМ-5), в которых в результате модернизации зона воспламенения газообразного топлива выносится за пределы зоны горения жидкого топлива и формирование газозвушной смеси не мешает сжиганию мазута. В конечном итоге это создает благоприятные условия для совместного сжигания обоих видов топлива в одном корпусе горелки. На данную техническую разработку получено авторское свидетельство № 2853 патентной экспертизы РФ «Горелка двухступенчатого сжигания топлива», которая отвечает требованиям новизны.

Представляет практический интерес для проектировщиков при создании усовершенствованных горелок двухступенчатого сжигания газомазутного топлива относительно размеры расчлененных амбразур [1]:

- для малой внутренней амбразуры горелки: диаметр выходного сечения  $D = 2,1d_0$ ; длина  $L = 2,3d_0$ ;

- для большой амбразуры горелки: диаметр цилиндрического сечения  $D = 4,2d_0$ ; длина  $L = 6,4d_0$ .

При этом  $d_0$  – диаметр входного сечения амбразуры горелки.

Отметим, что рекомендации по разработке данной новой горелки двухступенчатого сжигания топлива в трубчатых печах с минимальным выбросом загрязняющих веществ внедрены в проектную практику института Ленгипронефтехим [7]. Оснащение технологических печей Хабаровского и Ачинского НПЗ подобными малотоксичными горелками позволит реально повысить экологичность работы печного парка.

В то же время нельзя не отметить, что в целях охраны окружающей среды любая конструкция ГУ для той или иной печи должна отвечать требованиям не только минимальной эмиссии вредных веществ, но и его малозумной работы. Следует констатировать, что до настоящего времени процесс шумообразования при горении из-за сложности происходящих физико-химических явлений недостаточно изучен. К этому следует добавить, что мало изучено влияние конструкций различных ГУ и метода сжигания топлива, а также его вида на образование оксидов азота ( $NO_x$ ), как наиболее токсичных компонентов, содержащихся в продуктах сгорания [12].

Авторами для выполнения поставленной цели применительно к трубчатым печам Хабаровского НПЗ были проведены комплексные исследования экологичности работы различных конструкций горелок ВНИИнефтемаша. Испытания производились на действующих печах при совместном и раздельном сжигании жидкого и газообразного топлива в ГУ. В таблице приведены результаты экспериментальных исследований экологической эффективности горелок примерно одинаковой тепловой мощности. При этом содержание оксидов азота в продуктах горения определялось с помощью портативного газоанализатора Testo-33 немецкой фирмы Testoterm, а максимальные уровни шума на рабочих местах фиксировались на расстоянии 1 м от горелки по ее оси при помощи шумомера типа ВШВ-003 по стандартной методике.

Анализ результатов комплексных исследований показал, что наиболее шумными и высокотоксичными горелками из числа испытанных являются инжекционные типа ГИК-2, которые нуждаются в специальных защитных средствах по шумоподавлению и сокращению выбросов оксидов азота. В то же время выявлено, что рациональными типами ГУ по экологическим параметрам работы являются горелки диффузионного принципа сжигания топлива типа ГП, имеющие неоспоримые преимущества перед инжекционными. Отметим, что горелки ГП-2, работающие на газе, наиболее предпочтительны с экологической точки зрения, т.к. имеют незначительный выброс  $NO_x$  и уровень создаваемого шума, не превышающий требуемый норматив 80 дБА. Условный критерий токсичности, позволяющий выявить экологические эффективные ГУ, предложен и подробно описан в работе [12].

Результаты исследований экологичности работы горелок различных типов

Наименование	Тип (марка) горелочного устройства				
	ГИК-2	ГП-2	ГП-2	ГП-2	ГП-2М
Топливо	Газ	Газ	Газ и мазут	Мазут	Газ и мазут
Тепловая мощность, МВт	1,30	1,33	1,30	1,29	1,30
Компоновка горелки	Подовая	Подовая	Подовая	Подовая	Подовая
Концентрация $NO_x$ , мг/м <sup>3</sup>	210	170	180	185	180
Условный критерий токсичности, Т*	2470	2000	2120	2180	2120
Максимальный уровень шума, дБА	104	80	85	95	85

Пр и м е ч а н и е. Т\* – отношение фактической концентрации вредного вещества к его максимальной разовой ПДК (для  $NO_x$  ПДК = 0,085 мг/м<sup>3</sup>) [12].

Авторами также выявлено, что при самостоятельной эксплуатации только мазутной части (форсунки) ГУ при паровом распыливании жидкого топлива уровень шума достигает 95 дБА, что превышает на 15 дБА норматив. Следовательно, одной из причин шумной работы газомазутных горелок является применение пара для распыливания мазута. Таким образом, в целях охраны окружающей среды по условному критерию токсичности и малозумной работы, наиболее рациональными из действующих ГУ на НПЗ являются диффузионные горелки типа ГП-2.

Однако, как показывает практика эксплуатации подобных ГУ типа ГП в условиях Хабаровского НПЗ, они имеют основной недостаток, который заключается в том, что при использовании нефтезаводских газов происходит нагрев коллектора выше температуры пиролиза газа, что приводит к разложению газа с образованием сажи, забивающей сопла горелки, что снижает мощность горелки. Регулирование мощности горелки путем замены сопел на соответствующие по требованию невозможно без полного демонтажа горелки и остановки печи.

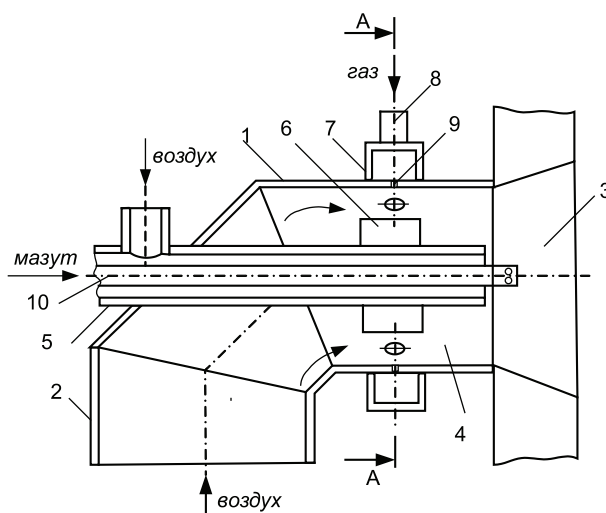
Для решения поставленной задачи в газомазутной горелке распылительную часть форсунки располагают, по задумке авторов, в амбразуре горелки. Благодаря этому отличие существенно повышается качество образующейся газомазутной смеси и, следовательно, обеспечивается эффективность совместного сжигания газа и мазута в корпусе горелки. Это обусловлено тем, что при работе горелки на газе и мазуте газ через патрубок поступает в коллектор и, распределяясь по газораздающим отверстиям, расположенным в смесительной камере, истекает в виде поперечных струй в высокоскоростной поток воздуха, а распылительная часть

форсунки располагается в амбразуре горелки, тем самым исключается близость расположения распылительной части форсунки от газораздающих отверстий и забивание их нераспыленными частицами мазута, что соответствует авторским подходам к созданию новых конструкций ГУ, изложенным в [1].

Предлагаемое техническое решение иллюстрируется рисунком, на котором изображена газомазутная горелка новой конструкции ГП-2М.

Газомазутная горелка содержит корпус 1 с патрубком для подачи воздуха 2, соединенный с амбразурой горелки 3, установленной в отверстии печи, смесительную камеру 4, трубу с патрубком 5 для подачи воздуха при работе горелки на мазуте, расположенную по оси корпуса 1 вставку 6, закрепленную на наружной поверхности трубы 5 с возможностью поворота и предназначенную для образования пережима на воздушном тракте, периферийный кольцевой коллектор 7 с патрубком 8 и газораздающими отверстиями 9, расположенными в зоне пережима воздушного тракта, мазутную форсунку 10, установленную внутри трубы 5, распылительная часть форсунки 10 расположена в амбразуре 3 горелки.

На данную конструкцию авторами получен патент на полезную модель, поскольку отвечает требованиям новизны технического решения [8]. Новая газомазутная горелка ГП-2М была апробирована в заводских условиях на установке первичной переработки нефти [2]. Она показала надежную и эффективную работу при совместном сжигании газа и мазута: закоксовывания газораздающих отверстий нераспыленными частицами мазута не было выявлено. Более того, была обеспечена достаточно высокая экологическая эффективность работы нового ГУ (таблица).



Модернизированная горелка типа ГП-2М конструкции ДВГУПС (патент № 139470)

Заслуживают внимания и практического интереса другие авторские технические решения в области новых малотоксичных и малошумных ГУ для трубчатых печей НПЗ, защищенные патентами на изобретения, изложенные ниже.

Паровая форсунка (пат. № 2193141) может быть использована в печных агрегатах, работающих на жидком топливе (мазуте). Она содержит корпус с насадкой и распылительной головкой, внутри которого расположен паровой штуцер с резьбовым конусом и золотниковой пробкой. Форсунка отличается от известных аналогов тем, что она дополнительно снабжена экраном, закреплённым с насадкой и имеющим в нижней части отверстия, общая площадь которых равна площади выходного отверстия экрана. Применение усовершенствованной конструкции паровой форсунки позволяет сократить время горения мазутного топлива и пребывания кислорода и азота в реакционной зоне, что приводит к снижению выбросов высокотоксичных оксидов азота на 50–60 % [9].

Одновременно и малотоксичное, и малошумное ГУ (пат. № 2204082) может применяться для сжигания жидкого топлива в трубчатых печах. Топливосжигающее устройство содержит воздухоподающий корпус, трубу подачи аэросмеси, установленную соосно внутри корпуса, форсунку, расположенную внутри трубы, радиальные выходные сопла и завихритель с полостью, подключённой к кольцевому зазору посредством радиальных каналов. Горелка отличается от подобных аналогов тем, что форсунка выполнена мазутной, а полость завихрителя – дымоохлаждающей, устройство дополнительно снабжено экраном, установленным на выходе воздухоподающего корпуса. Благодаря указанным отличительным признакам происходит уменьшение создаваемого при работе уровня шума по сравнению с известными горелками на 5–10 дБ, а также сокращение выбросов оксидов азота на 10–20 % за счёт рециркуляции дымовых газов [10].

Комбинированная малотоксичная горелка (пат. № 41117) может быть использована в печах, работающих на газообразном и резервном жидком топливе. Она содержит воздушный коллектор с амбразурой, по оси которого расположен топливопроводящий узел с соплами. Данная горелка отличается от прототипа тем, что топливопроводящий узел, по авторскому решению, выполнен

с возможностью перемещения в диапазоне расположения сопел на высоте 1/3–2/3 высоты амбразуры, что позволяет сократить на 20–25 % вредные выбросы оксидов азота с продуктами сгорания топлива [11].

Таким образом, предлагаемые новые и модернизированные конструкции горелок и форсунок помогут проектировщикам и эксплуатационникам на НПЗ производить правильный подбор малотоксичных и малошумных топливосжигающих устройств для печных агрегатов, что позволит решить проблему охраны окружающей среды от загрязнения.

### Список литературы

1. Березуцкий А.Ю., Катин В.Д. Разработка нового подхода к проектированию и созданию малотоксичных конструкций горелок для нефтезаводских печей // Труды Всероссийской научной конф. «Наука университета – новации производства». – Хабаровск: ДВГУПС, 2012. – С. 314–321.
2. Березуцкий А.Ю., Катин В.Д. Разработка новых технических решений по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельно-печного парка и оборудования Хабаровского нефтеперерабатывающего завода // Молодые ученые – Хабаровскому краю: материалы XVII краевого конкурса молодых ученых и аспирантов. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2015. – С. 145–149.
3. Катин В.Д., Бойко В.А. Защита атмосферного воздуха при малоотходных методах сжигания мазута и нефтезаводских газов в котлах и печах. – Владивосток: Дальнаука, 2012. – 190 с.
4. Катин В.Д. Методы сокращения вредных выбросов в атмосферу на нефтеперерабатывающих заводах // Безопасность в техносфере. – 2009. – № 1. – С. 50–52.
5. Катин В.Д., Киселев И.Г. Результаты исследований эколого-технического уровня эксплуатации горелок котельно-печного парка Ачинского НПЗ // Нефтепереработка и нефтехимия: НТИС. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2006. – № 2. – С. 38–41.
6. Катин В.Д., Старовойт А.И. Охрана воздушного бассейна при сжигании топлива в котлах и печах предприятий железнодорожного транспорта и нефтепереработки. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – 160 с.
7. Пайметов Н.Г. Разработка метода снижения вредных выбросов из трубчатых печей предприятий нефтепереработки (на примере Хабаровского нефтеперерабатывающего завода): дис. ... канд. техн. наук. – Владивосток: ДВГТУ, 2007. – 146 с.
8. Патент № 139470 Россия, МКИ F23D 17/00. Газомазутная горелка / Катин В.Д., Березуцкий А.Ю. Оpubл. 20.04.2014. Бюл. № 11.
9. Патент № 2193141 Россия, МКИ F23D 11/10. Паровая форсунка / Катин В.Д., Дьяченко С.Н. Оpubл. 20.11.2002, Бюл. № 32.
10. Патент № 2204082 Россия, МКИ F23C 1/10. Горелочное устройство / Пойманов Е.А., Катин В.Д. Оpubл. 10.05.2003, Бюл. № 13.
11. Патент № 41117 Россия, МКИ F23D 17/00. Комбинированная горелка / Катин В.Д., Дьяченко С.Н. Оpubл. 10.10.2004. Бюл. № 28.
12. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – СПб.: Недра, 1998. – 312 с.

### References

1. Berezuckij A.Ju., Katin V.D. Razrabotka novogo podhoda k proektirovaniju i sozdaniju malotoksichnyh konstrukcij gorelok dlja neftezavodskih pechej // Trudy Vserossijskoj nauchnoj konf. «Nauka universiteta novacii proizvodstva». Habarovsk: DVGUPS, 2012. pp. 314–321.
2. Berezuckij A.Ju., Katin V.D. Razrabotka novyh tehniceskikh reshenij po snizheniju vybrosov zagrijaznjajushhih veshhestv v atmosferu ot kotelno-pechnogo parka i oborudovanija Habarovskogo neftepererabatyvajushhego zavoda // Molodye uchenye Habarovskomu kraju: materialy XVII kraevogo konkursa molodyh uchenykh i aspirantov. Habarovsk: Izd-vo TOGU, 2015. pp. 145–149.
3. Katin B.D., Bojko V.A. Zashhita atmosfernogo vozduha pri malooodnykh metodah szhiganiya mazuta i neftezavodskih gazov v kotlah i pechah. Vladivostok: Dalnauka, 2012. 190 p.
4. Katin V.D. Metody sokrashhenija vrednykh vybrosov v atmosferu na neftepererabatyvajushhih zavodah // Bezopasnost v tehnsfere. 2009. no. 1. pp. 50–52.
5. Katin V.D., Kiselev I.G. Rezultaty issledovanij jekologo-tehnicheskogo urovnja jekspluatacii gorelok kotelno-pechnogo parka Achinskogo NPZ // Neftepererabotka i neftehimija: NTIS. M.: CNITJenefehim, 2006. no. 2. pp. 38–41.
6. Katin V.D., Starovoit A.I. Ohrana vozdušnogo bassejna pri szhiganii topliva v kotlah i pechah predpriyatij zhelezno-dorozhnogo transporta i neftepererabotki. Vladivostok: Dalnauka, 2007. 160 p.
7. Pajmetov N.G. Razrabotka metoda snizhenija vrednykh vybrosov iz trubchatykh pechej predpriyatij neftepererabotki (na primere Habarovskogo neftepererabatyvajushhego zavoda): dis. ... kand. tehn. nauk. Vladivostok: DVGUTU, 2007. 146 p.
8. Patent no. 139470 Rossiya, MKI F23D 17/00. Gazomazutnaja gorelka / Katin V.D., Berezuckij A.Ju. Opubl. 20.04.2014. Bjul. no. 11.
9. Patent no. 2193141 Rossiya, MKI F23D 11/10. Parovaja forsunka / Katin V.D., Djachenko S.N. Opubl. 20.11.2002, Bjul. no. 32.
10. Patent no. 2204082 Rossiya, MKI F23C 1/10. Gorelochnoe ustrojstvo / Pojmanov E.A., Katin V.D. Opubl. 10.05.2003, Bjul. no. 13.
11. Patent no. 41117 Rossiya, MKI F23D 17/00. Kombinirovannaja gorelka / Katin V.D., Djachenko S.N. Opubl. 10.10.2004. Bjul. no. 28.
12. Sigal I.Ja. Zashhita vozdušnogo bassejna pri szhiganii topliva. SPb.: Nedra, 1998. 312 s.

### Рецензенты:

Шевцов М.Н., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Инженерные системы и техносферная безопасность», Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск;

Карпец Ю.М., д.ф.-м.н., профессор, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск.