

Обеспечение промышленной безопасности с помощью технологических возможностей ультра струйной диагностики 77-30569/325824

01, январь 2012

Галиновский А. Л., Барзов А. А., Елагина О. Ю.

УДК 621.001.5; 621.9

МГТУ им. Н.Э. Баумана
РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина
galcomputer@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день ультраструйные технологии эффективно решают задачи высокопроизводительного гидрорезания различных труднообрабатываемых материалов, расснаряжения боеприпасов и утилизации объектов военной техники, очистки поверхностей от специфических загрязнений, например эксплуатационного нагара при планово-восстановительном ремонте ряда командных деталей газо-турбинных двигателей, и т.д.

Традиционные технологии гидрорезания и гидроструйной очистки являются наиболее изученными составляющими более широкой гаммы гидротехнологий, объединяемых термином «ультраструйная технология», а также общим физико-энергетическим содержанием [1-5].

В статье проводится теоретический анализ возможностей использования ультраструи жидкости в качестве нового средства исследования и инструментального контроля эксплуатационно-технологических параметров состояния поверхностного слоя различных объектов. Весьма вероятно, что в перспективе реализация этой идеи позволит создать высокоэффективный аппарат ультраструйной диагностики, позволяющий оперативно решать ряд практически важных вопросов, в первую очередь, связанных с оценкой остаточного ресурса материала конструкций потенциально опасных объектов, в частности в ТЭК, транспортных систем, АЭС и т.д.

При этом физическая сущность данного способа диагностики будет неизменна, так как она неразрывно связана с анализом и практическим использованием энергетически экстремальных механизмов взаимодействия ультраструи жидкости с твердым телом, в частности, с механизмом его гидроразрушения.

Цель работы состоит в разработке информационно-методического потенциала ультразвуковой технологии, в ее апробации на практике на предприятиях топливно-энергетического комплекса.

Научная новизна работы заключается в разработке нового ультразвукового способа диагностики, имеющего перспективы для развития ввиду возможности натурного моделирования эксплуатационных нагрузок на материалы и изделия и получения достоверной информации о состоянии поверхностного слоя.

Феноменологическая предпосылка исследования базируется на предположении о том, что физические процессы ультразвуковой технологии могут стать основой для создания аппарата диагностики и экспресс-контроля параметров качества изделий машиностроения и других промышленных объектов. Данная технология позволит определять параметры состояния поверхностных и подповерхностных слоев изделий, определяющих их прочностные, усталостные и иные эксплуатационные характеристики, связанные с поврежденностью конструкционного материала и остаточным ресурсом объекта диагностики в целом, наличия в нем дефектов и остаточных напряжений.

1. Научно-методическое обоснование метода ультразвуковой диагностики

Суть ультразвуковой диагностики (УСД) состоит в том, что при воздействии на определенные участки поверхности контролируемого (диагностируемого) объекта жидкостной или абразивно-жидкостной струи, могут быть оценены параметры этого воздействия: пластическая деформация поверхностного слоя, продукты гидроэрозии и т.д. Так, например, может быть определена интенсивность гидроэрозии (унос массы в единицу времени). Далее полученные результаты сравниваются с исходными данными по идентичному струйному воздействию на образцы аналогичного конструкционного материала с известными физико-механическими свойствами (эталон). По разнице результатов этих воздействий (диагностического и эталонного) можно судить о физико-механическом состоянии поверхностных и/или подповерхностных слоев материала контролируемого объекта, элемента конструкции, серийной детали или лабораторного образца исследуемого материала.

В качестве эталона сравнения можно использовать априори наиболее качественные (менее дефектные, с большим остаточным ресурсом) участки самой диагностируемой конструкции, в частности, её наименее нагруженные зоны, элементы и т.д. Эталоны сравнения могут быть специально созданы при формировании диагностируемой в будущем конструкции (образцы-свидетели с легко определяемыми физико-механическими свойствами на основе проведения прямых экспериментов) или вырезаны,

например методом гидроабразивного резания, из эксплуатирующейся конструкции с последующим ремонтом образующихся повреждений.

Восстановление участков поверхности конструкции, подвергнутых струйному диагностированию, также может быть осуществлено путем заполнения образующихся гидрокаверн, например конструкций из железобетона, ремонтным составом с целью, как минимум, неуменьшения несущей способности (ресурса) объекта контроля.

Таким образом, можно сформировать алгоритм УСД, который состоит из следующих основных этапов:

На поверхность объекта контроля оказывается гидроструйное воздействие, вызывающее гидроэрозию поверхности при определенных режимах: заданном рабочем давлении струи, её диаметре, рациональной кинематике движения по диагностируемой поверхности т.д.

Параметры гидроэрозии (геометрические характеристики гидрокаверны, масса и размеры частиц материала, структура материала в месте реза и т.д.) сравниваются с эталонными характеристиками и/или между собой на различных участках поверхности.

По полученной разнице результатов сравнений (абсолютной и/или относительной) судят о качестве (остаточном ресурсе, физико-механических свойствах) контролируемого участка (участков) поверхности и о текущем и/или прогнозном состоянии объекта в целом.

Важным прикладным аспектом УСД является возможность проведения выходного технологического контроля качества изготавливаемой продукции, достоверной экспресс-оценки эксплуатационных параметров поверхностных и подповерхностных слоев (участков) объектов и деталей промышленного назначения, наиболее уязвимых при изготовлении и функционировании, повышении производительности процедуры контроля, возможности её совмещения с другими технологическими операциями, например струйной очисткой поверхностей от загрязнений с целью последующего выполнения ремонтно-восстановительных работ, окраской и т.д.

С практической точки зрения использование УСД имеет также важное значение на завершающих этапах гарантийного срока эксплуатации изделий, например для обоснования его возможного продления, что является актуальной задачей современной промышленности. Кроме того, УСД будет весьма полезной в качестве инструмента оперативного диагностирования объектов, подвергшихся нерасчетным режимам эксплуатации, например при оценке состояния силовых конструкций после стихийных бедствий: пожара, наводнения, землетрясения и т.д. Весьма вероятно, что в недалеком будущем УСД войдет в число средств, обеспечивающих безопасную эксплуатацию технически сложных изделий по их фактическому ресурсу.

Таким образом, сфера практических приложений УСД заключается в информационно-диагностическом обеспечении всех ключевых этапов жизненного цикла изделий и объектов различного назначения. Ультраструйная диагностика обеспечивает получение оперативной и достоверной диагностической информации о параметрах состояния, в первую очередь поврежденности и физико-механических свойствах их поверхностных и подповерхностных слоев, геометрически соизмеримых с геометрическими параметрами гидроструйной эрозии.

2. Место ультразвуковой диагностики в топливно-энергетическом комплексе

Принципиально важное практическое значение имеет multifunctionality ультразвуковой технологии, заключающаяся, прежде всего, в возможности совмещения операций (получения образцов, диагностики образцов, очистки образцов, резки и размерной обработки материала и т.д.). Использование универсального ультразвукового оборудования позволит решить весьма широкий круг задач - от производства изделий, их диагностики до утилизации при выводе из эксплуатации. В качестве иллюстрации на рис. 1 приведена схема, построенная на примере объектов топливно-энергетического комплекса и иллюстрирующая возможные области реализации ультразвуковой технологии.

Следует подчеркнуть значимость применения УСД в различных областях топливно-энергетического комплекса, где у нее практически нет альтернативных технологических решений, в частности по пожаро - взрывобезопасности, выполнении планово-восстановительных и ремонтных работ, при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. К рациональному применению и перспективным областям развития данных УСТ относятся:

Очистка и обработка различных неметаллических материалов без вредных и токсичных газовыделений: резина, пластики, композиты;

Очистка загрязненных мазутом, отложениями нефти и нефтепродуктов трубопроводов и коммуникаций;

Разрезка, сегментация и утилизация объектов топливно-энергетического комплекса с отсутствием пожароопасного фактора обработки: танкеры, нефтепроводы, резервуары-хранилища, цистерны;

Резка и размерная обработка материалов под водой при добыче полезных ископаемых с использованием морских платформ, прокладке подводных нефте- и газопроводов.

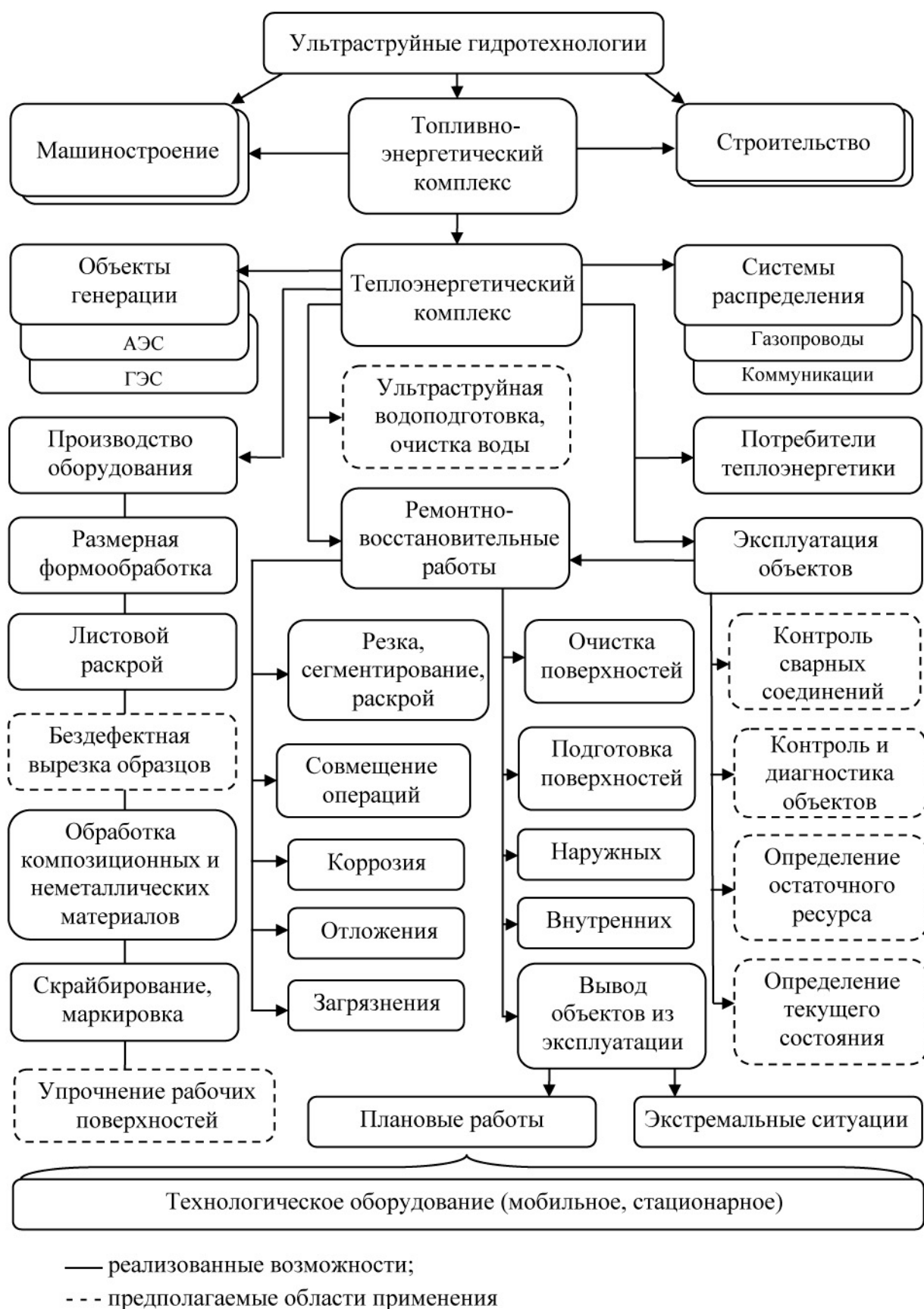


Рис. 1. Области применения ультразвуковых технологий



Рис. 2. Структурная схема рационального применения ультразвуковых гидротехнологий в обеспечении пожарной и промышленной безопасности объектов топливно-энергетического комплекса

В дополнение к схеме, иллюстрирующей области применения ультразвуковых технологий, для анализа предложим диаграмму, типа диаграммы Исикава, рационального

применения ультразвуковых гидротехнологий в обеспечении пожарной и промышленной безопасности объектов топливно-энергетического комплекса (рис. 2).

Повышение надежности на этапе производства, проведение планово-восстановительных работ, диагностика узлов и агрегатов, оценка остаточного ресурса, являются ключевыми составляющими обеспечения безопасности промышленных объектов. Особое значение имеют элементы топливно-энергетического комплекса, как в наибольшей степени требующие гарантий работоспособности и безотказности, надежности и качества функционирования, экологичности и безопасности работы. Примером является обеспечение высокого уровня надежности и безопасности для строящегося трубопровода Северный поток (Nord Stream), согласно которому трубы подлежат трехуровневой системе контроля качества. Каждый сварной шов на морском участке газопровода будет подвергнут стопроцентному тестированию в соответствии со стандартом для морских трубопроводов Det Norske Veritas (DNV) (DNV-OS-F101).

3. Оценка перспективности ультразвуковой диагностики методом экспертных оценок

Весьма фрагментарное теоретическое обоснование и практическое отсутствие экспериментальных данных по технологическим возможностям ультразвуковой диагностики, не разработанность исходной методической базы и необходимость выработки рациональной траектории исследований по анализу и реализации инновационного потенциала предлагаемой технологии требуют использования метода экспертных оценок [6, 7].

Применительно к анализу функциональных возможностей ультразвуковой диагностики основными задачами экспертных оценок будут следующие:

- сравнение предлагаемой технологии УСД с другими распространенными методами определения эксплуатационных свойств изделий;
- сравнительный анализ перспективности применения УСД;
- общая экспертная оценка инновационного потенциала исследуемой технологии УСД.

Для оценки соответствия между факторами и особенностями технологии УСД с другими традиционными испытательно-диагностическими технологиями выделим их характерные сравниваемые признаки. В соответствии с поставленной задачей сравнивались следующие физико-технологические параметры и факторы данных методов диагностики: информативность (Инф), производительность (Пр), Управляемость (Упр), Техническая реализуемость (Тр), Перспективность (Пер), Изученность (Из).

Предложенные параметры характеризуют следующие сравниваемые методы определения: фрикционные и усталостные испытания ((ФИ) и (УИ) соответственно), а также УСД;

Вышеизложенное явилось основой для формирования структуры и содержания анкеты эксперта. Обработка результатов анкетирования осуществлялась методом взвешенной суммы:

$$U = \sum_{i=1}^n \xi_i K_i, \quad (1)$$

где U - итоговая оценка инновационного потенциала анализируемого конструкторско-технологического решения и/или мероприятия, параметра, фактора и т.д.;

ξ_i - весовой коэффициент, индивидуализирующий значимость критерия K_i , характеризующего некоторое качество конструкторско-технологического решения;

n - общее число критериев качества (оценок).

В результате его использования были определены средневзвешенные значения весовых коэффициентов и распределены по критериям сравнения (рис. 3), а также рассчитана итоговая оценка значимости U_i сравниваемых методов диагностики и испытаний (рис. 4).

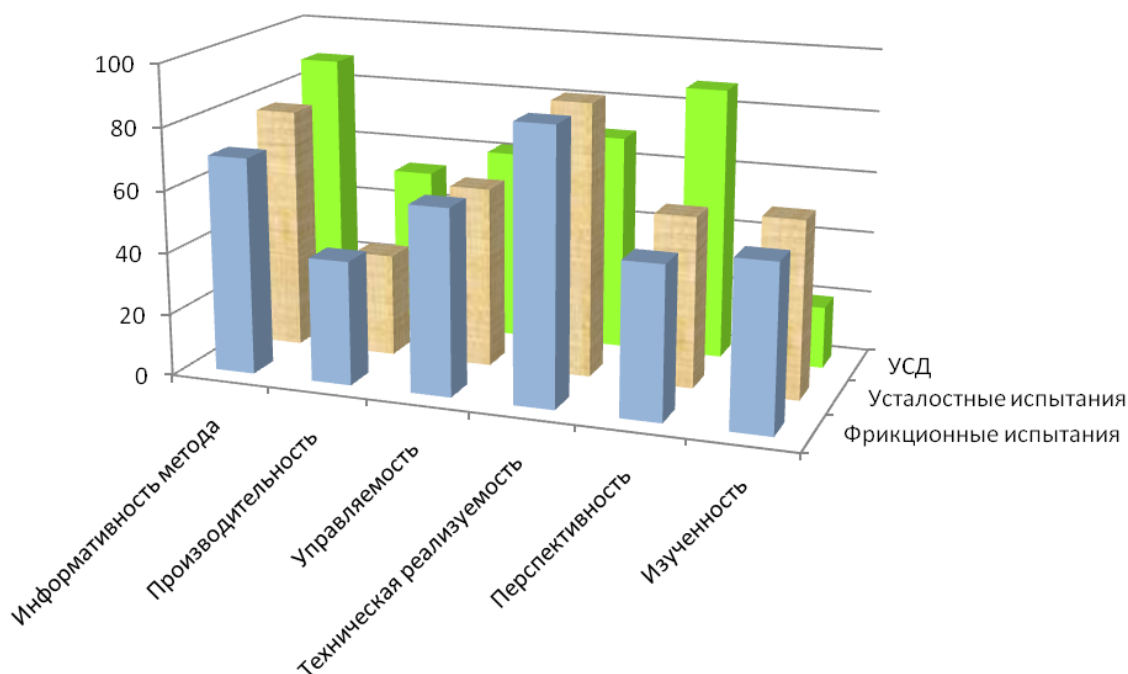


Рис. 3. Распределение средневзвешенных оценок экспертов по критериям сравнения

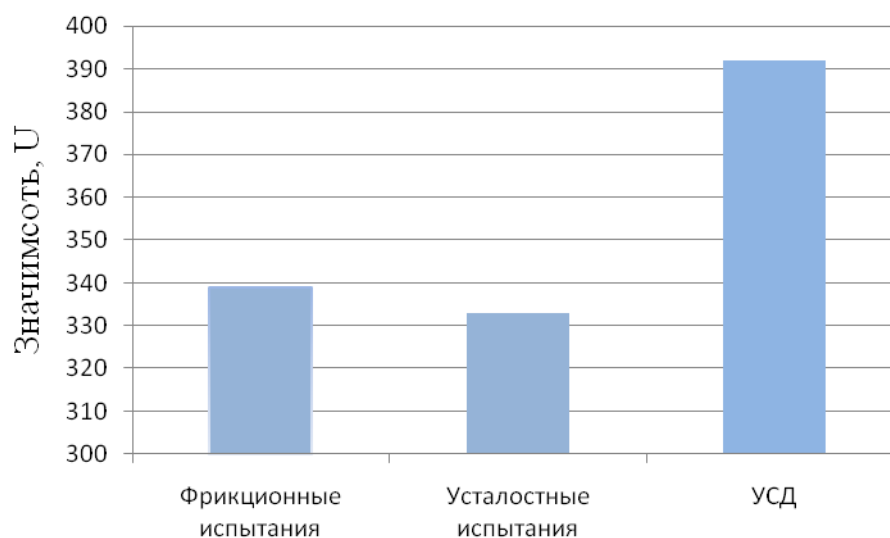


Рис. 4. Итоговая оценка эффективности сравниваемых методов диагностики и испытаний

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из представленных результатов видно, что ультразвуковой метод оценки параметров качества поверхностного слоя имеет большие потенциальные преимущества по сравнению с существующими методами диагностики и испытаний, что позволяет сделать аргументированный вывод о целесообразности реализации технологии УСД. Весьма перспективно использование метода в топливно-энергетическом комплексе, поскольку уже сейчас ультразвуковые технологии обработки материалов, в частности для резки трубопроводов и резервуаров, широко используются, не имея существенных альтернатив ввиду критерия пожаро- и взрывобезопасности данной технологии.

Литература

1. Степанов Ю.С. Барсуков Г.В. Современные технологические процессы механического и гидроструйного раскроя технологических тканей. Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2004. 240 с.
2. Тихомиров Р.А. Гидрорезание судостроительных материалов/ Р.А. Тихомиров, В.Ф. Бабин, Е.Н. Петухов. – Л.: Судостроение, 1987. – 164 с.
3. Тихомиров Р.А., Гуенко В.С. Гидрорезание неметаллических материалов. К.: Техника, 1984. 150 с.
4. Полянский С.Н. Технология и оборудование гидроабразивной резки С.Н. Полянский, А.С. Нестеров// Вестник машиностроения. – 2004. - №5.- С.43 – 46.

5. Губин С.А., Корсунский Б.Л., Пепекин В.И. Проблемы утилизации боеприпасов в России. Препринт РАН Институт химической физики им. Н.Н. Семенова, Институт химической физики в Черноголовке, Москва, 1994.-24 с.
6. Хвастунов Р.М., Ягелло О.И., Корнеева В.М., Поликарпов М.П. Экспертные оценки в квалиметрии машиностроения. М.: АНО «Технонефтегаз», 2002, 142 с.
7. Кершенбаум В.Я., Хвастунов Р.М. Решение задач квалиметрии машиностроения. М.: АНО «Технонефтегаз», 2002, 158 с.

Industrial safety through technological capabilities of ultra-jet diagnostics

77-30569/325824

01, January 2012

Galinovsky A. L., Barzov A.A., Елагина О.А.

Bauman Moscow State Technical University
Gubkin Russian State University of Oil and Gas
galcomputer@yandex.ru

This article deals with the prospective use of diagnostic ultra-fluid jet in order to ensure the safety of industrial plants. The basic approaches to implementation of this technology, its purpose, features, functionally - diagnostic capabilities and etc. were considered in this work. Some results of theoretical and experimental studies were included.

Publications with keywords: [ultra ink-jet express diagnostic](#), [fuel and energy complex](#), [industrial safety](#)

Publications with words: [ultra ink-jet express diagnostic](#), [fuel and energy complex](#), [industrial safety](#)

References

1. Stepanov Iu.S. Barsukov G.V. *Sovremennye tekhnologicheskie protsessy mekhanicheskogo i gidrostruinogo raskroia tekhnologicheskikh tkanei: Biblioteka tekhnologa* [Modern technological processes of mechanical and hydro cutting of technology fabrics: A technician's library]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004. 240 p.
2. Tikhomirov R.A., Babin V.F., Petukhov E.N., e.a. *Gidrorezanie sudostroitel'nykh materialov* [Waterjet cutting of shipbuilding materials]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1987, 164 p.
3. Tikhomirov R.A., Guenko V.S. *Gidrorezanie nemetallicheskh materialov* [Waterjet cutting of nonmetallic materials]. Kiev, Tekhnika Publ., 1984, 150 p.
4. Polianskii S.N., Nesterov A.S. *Tekhnologiya i oborudovanie gidroabrazivnoi rezki* [Technology and equipment for waterjet cutting], *Vestnik mashinostroeniia*, 2004, no. 5, pp. 43-46.
5. Gubin S.A., Korsunskii B.L., Pepekin V.I. *Problemy utilizatsii boepripasov v Rossii. Preprint* [The problems of ammunition disposal in Russia. Preprint], Moscow, Semenov Inst. of Chem. Phys. RAS, 1994. 24 p.

6. Khvastunov R.M., Iagello O.I., Korneeva V.M., Polikarpov M.P. *Ekspertnye otsenki v kvalimetrii mashinostroeniia* [Expert evaluation in engineering qualimetry]. Moscow, ANO “Tekhnoneftegaz”, 2002. 142 p.
7. Kershenbaum V.Ia., Khvastunov R.M. *Reshenie zadach kvalimetrii mashinostroeniia* [Solution of problems of engineering qualimetry], Moscow, ANO “Tekhnoneftegaz”, 2002. 158 p.