

Устройство, реализующее предложенный способ контроля (рис. 5), состоит из подающего и принимающего блоков 1 и 7, термостатной камеры 4 и вольтметра 3 с двумя роликовыми контактами 2 и 5, соединенными с протяженным изделием из никелида титана 6.

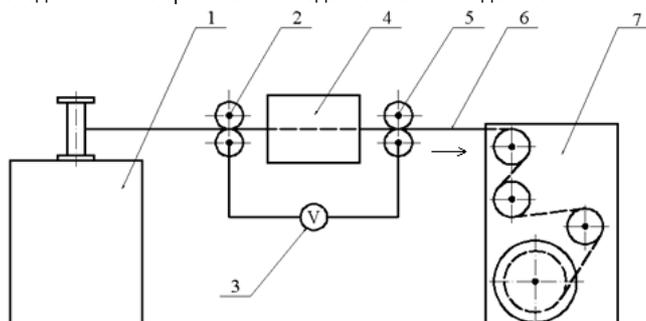


Рис. 5. Устройство для контроля качества протяженных TiNi изделий

**Заключение.** На основе полученных экспериментальных данных по наведению термокинетической ЭДС в сплавах никелида титана разработан метод и устройство неразрушающего контроля однородности физико-механических свойств протяженных, например проволочных, TiNi изделий, в исходном состоянии находящихся в аустените.

Предлагаемое техническое решение может быть использовано для контроля не только изделий из сплава с памятью формы, но и других сплавов. Необходимо только, чтобы в зоне охлаждения происходило фазовое (аллотропное) превращение.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рубаник, В.В. Сплавы с эффектом памяти формы: свойства, технологии, перспективы / В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл., О.А. Легкоступов, А.В. Лесота – Витебск, 2014. – С. 33–35.
2. Рубаник, В.В. Письма о материалах / В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл., О.А. Петрова-Буркина – Уфа, 2012. – Т. 2, № 2. – С. 71–73.

Материал поступил в редакцию 01.12.14

#### RUBANIK V.V., RUBANIK V.V. JR., LESOTHO A.V. Nondestructive method and control unit of uniformity of physicomechanical TiNi properties of products

It is established that in the wire samples of a nikelid of the titan which are initially in an austenitic state when moving along the sample cooled (Mk is up to one temperature lower) a site there is a thermokinetic EMF caused by direct phase transformation. In the course of movement of a zone of cooling through the deformed sites the sharp increase in thermokinetic EMF is observed. Thus the quantity of the deformed sites thermokinetic EMF doesn't influence a sign and size.

On the basis of these researches the method and the device of definition of non-uniform sites of the extended products TiNi which are in a high-temperature austenitic state is developed. The method of definition of non-uniform deformation sites consists in drawing of extended TiNi of a product with a constant speed via the device in which it locally is exposed to cooling lower than temperature of transition of material to a martensitny state, with continuous measurement of the thermokinetic EMF arising in a wire. In case of existence of non-uniform sites in a wire sample sharp jump of value of thermokinetic EMF is observed. Thus, product sites in which the phase or chemical composition differs from set are determined by change of thermokinetic EMF, so these sites differ also in physical properties and are subject to rejection.

УДК 629:004.891

Иванов В.П., Уваров Г.А.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ БЕНЗИНОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Введение.** Современные бензиновые автомобильные двигатели характеризуются высокой экономичностью и пониженным содержанием вредных веществ в отработавших газах. Эти показатели достигаются точным управлением составом топливовоздушной смеси и моментом ее поджига. Повышение эксплуатационных показателей достигнуто усложнением конструкции, использованием новых материалов, изменением концепции автомобилестроения в рамках системы CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support – Непрерывная Поддержка Приобретения и Жизненного цикла) [1]. Эта экономически оправданная концепция предусматривает снижение себестоимости автомобилей за счет ограничения ресурса по наименее надежным их элементам при обеспечении безремонтной эксплуатации в течение 5–8 лет. Исследуя сложность диагностирования систем и механизмов современных автомобильных двигателей на универсальных диагностических постах, нами были выявлены проблемы локализации некоторых редких неисправностей, имеющих специфический характер, а также постепенных отказов, являющихся результатом сочетания нескольких факторов. В этих случаях результаты самодиагностирования в рамках считывания кодов неисправностей часто недостаточно достоверны. Трудность диагностирования объясняется тем, что не существует эффективных средств для идентификации таких неисправностей. Важным в таких условиях

представляется использование наукоемких методик получения и анализа диагностической информации.

**Цель работы** заключалась в повышении эффективности диагностирования путем совершенствования методики и разработки алгоритма поиска неисправностей с использованием автоматизированных средств анализа.

**Диагностическая система.** При определении состава диагностических средств были использованы методики отслеживания и анализа быстротекущих процессов, позволяющие выявлять причины, характеристики и локализацию нарушения процессов воспламенения и сгорания топливовоздушной смеси (рис. 1).

Аппаратная часть комплекса включает портативный компьютер ASUS с внутренней частотой 1,6 ГГц и ОЗУ 2 Гб, двухканальный цифровой USB-осциллограф DISCO-2 производства «Мотор-мастер» (Россия) с частотой дискретизации 100 кГц, а также универсальный OBD-сканер диагностических кодов Autocom CARS CDP+ компании ASUSTeK computer inc. (Швеция).

Бензиновые двигатели диагностировались по параметрам плазменной дуги, возникающей между контактами свечи зажигания, в совокупности с параметрами колебаний корпусной детали двигателя, динамическими параметрами отработанных газов, виброакустического сигнала, сопровождающего процессы воспламенения и

Иванов Владимир Петрович, д.т.н., профессор кафедры «Автомобильный транспорт» Полоцкого государственного университета, e-mail: [ivprem@tut.by](mailto:ivprem@tut.by).

Уваров Герман Александрович, инженер кафедры «Автомобильный транспорт» Полоцкого государственного университета, e-mail: [uvarov.german@mail.ru](mailto:uvarov.german@mail.ru).

Беларусь, 211440, г. Новополоцк, Витебской обл., ул. Блохина, 29.

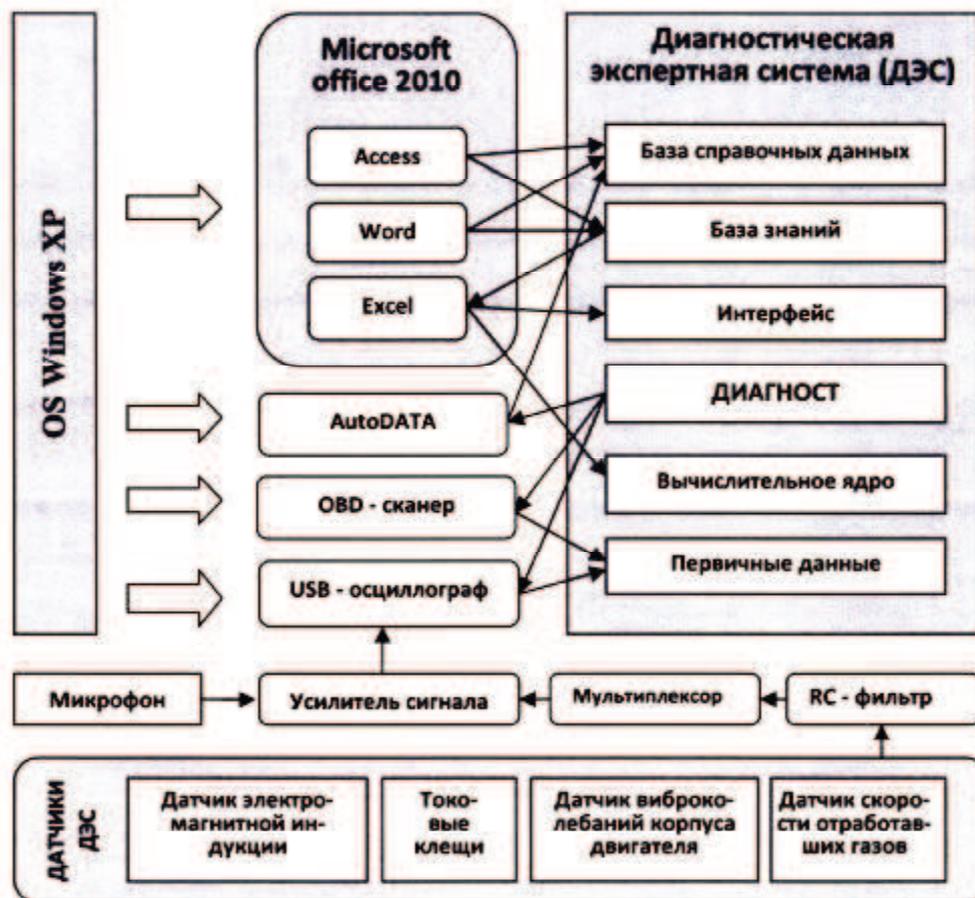


Рис. 1. Состав диагностической системы

сгорания топливоздушной смеси в цилиндрах двигателя, а также току стартера. Для этого в состав комплекса включены датчики виброколебаний, электромагнитной индукции и скорости отработавших газов, токовые клещи и микрофон. Сигналы от датчиков до подачи на вход осциллографа проходили через RC-фильтры позволяющие выделить наиболее информативную полосу от высоко- и низкочастотных помех, и далее через мультиплексор поступали на вход усилителя. Использование мультиплексора и усилителя позволили выравнивать и суммировать разноуровневые сигналы.

В качестве справочной базы данных использовали продукт компании Autodata Limited. Интерфейс и вычислительное ядро созданы в среде табличного процессора Excel пакета Microsoft office 2010.

Основная часть. Наличие косвенной информации о составе топливоздушной смеси, параметрах микро- и макрофлуктуации процессов ее сгорания, совместно с информацией об относительной и абсолютной компрессии в цилиндрах и учетом кодов генерируемых подсистемой самодиагностирования системы управления бензиновым двигателем позволяет значительно сократить время и сложность диагностирования при одновременном повышении его достоверности. Эта методика представляет интерес ввиду ее высокой информативности при низкой трудоемкости. Аппаратный метод виброакустического диагностирования автомобилей имеет в настоящее время недостаточное распространение ввиду сложности анализа получаемых данных.

Для более успешного решения задач диагностирования двигателей современных автомобилей необходимо совершенствовать диагностические алгоритмы, анализ и оценку информации, дать точное математическое определение известным, но не имеющих четкого толкования терминам: возможность, определенность, неопределенность и др. Трудности моделирования алгоритмов реального диагностирования связаны со спецификой процесса: с одной стороны, при назначении признаков и параметров необходимо соответствие определению вероятности (принципам аддитивной вероятности),

и, с другой стороны, – обеспечить адекватное представление решаемых задач, в которых вероятность представляется не в частотном, а в достоверном представлении.

Алгоритм диагностирования включает не только получение и анализ получаемой диагностической и справочной информации, но также учитывает себестоимость диагностирования. Он оптимизируется для наиболее рационального использования имеющихся временных, инструментальных и трудовых ресурсов. Сплошная последовательная проверка всех элементов без выявления приоритетов является самым неэффективным способом поиска неисправности, так как требует значительного времени и значительных трудозатрат. Последовательность выполнения диагностических шагов определяется результатами анализа симптомов неисправности. Диагностический граф преследует цель подтвердить или подвергнуть сомнению наиболее возможные из предположений. Предположения имеют множественный состав, в том числе могут включать противоположные утверждения. Выбираются диагностические операции, позволяющие снизить неопределенность предположений до требуемого уровня за возможно меньшее время с большей достоверностью.

Ценность информации определяется уменьшением материальных или временных затрат, благодаря использованию данной информации. Если при использовании информации произошло увеличение затрат, то ценность (целесообразность) такой информации отрицательная. А.А. Харкевич предложил связать меру ценности информации  $I$  с изменением вероятности достижения цели при получении этой информации следующим образом [2]

$$I = \log(p_1 / p_0) = \log(p_1) - \log(p_0), \quad (1)$$

где  $p_0$  – вероятность достижения цели до получения данной информации;  $p_1$  – вероятность достижения цели после получения информации.

Для определения количества информации  $H$ , необходимой для разрешения неопределенности до заданного уровня можно использовать формулу Хартли [3]

$$H = \log N_0, \quad (2)$$

где  $N_0$  – число возможных равновероятностных исходов.

Выбор основания логарифма связан с выбором единицы измерения количества информации. Количество информации, необходимой для выбора определенного варианта из  $N$  равновероятных вариантов, равно  $\log_2 N$  (бит). При рассмотрении неравновероятностных вариантов количество информации, необходимое для разрешения неопределенности определяется соотношением

$$H = \sum_{i=1}^N (p_i \log_2 \frac{1}{p_i}); \sum_{i=1}^N p_i = 1, \quad (3)$$

где  $p_i$  – вероятность исхода  $i$ ;  $N$  – общее число исходов.

Грани диагностического графа должны выбираться таким образом, чтобы сократить длину диагностического алгоритма. При этом могут комбинироваться различные стратегии достижения наибольшей эффективности. Диагностическая операция наиболее желательна при высокой информативности, высокой достоверности, низкой сложности и трудоемкости. Операции могут выбираться таким образом, чтобы подтвердить или подвергнуть сомнению наиболее возможные предположения. Однако если себестоимость операции относительно высокая, то рассматриваются варианты с меньшей себестоимостью и меньшей информативностью, позволяющие перераспределить возможность менее вероятных предположений и таким образом отсеять менее возможные предположения.

Используя функции принадлежности и особым образом организованные значения переменных, можно свести анализ данных к операциям произведения значений кластеров на весовые коэффициенты полноты и достоверности с последующим их суммированием. При назначении в экспертной системе шкалы градаций лексической переменной обычно пользуются «правилом  $7 \pm 2$ ». Нами выбрана девятизначная градация, повышающая информативность ввода первичных симптомов.

Нечеткая классификация симптомов по кластерам состояний позволяет автоматизировать анализ информации, комбинаторный объем которой достигает «стены сложности» при ее анализе перебором (вариантов). Например, при наличии восемнадцати девятиразрядных признаков мы имеем множество вариантов мощностью  $9^{18}$ . Естественно, что изучить в данном случае все варианты сплошным перебором не представляется возможным, целесообразнее использовать инструменты нечетких интервальных математик [4, 5].

Анализ эксплуатационных симптомов, характеризуемых девятиразрядной переменной, целесообразен с применением нечеткой кластеризации значений по двум диаметрально кластерам и среднему кластеру, свидетельствующему об отсутствии данных. При выборе варианта значения симптома  $X$  соответственно ему автоматически назначается целое положительное число, подставляемое в формулы принадлежности. В данном примере это число лежит в интервале (0; 10). Нами предложено использовать функции принадлежности следующего вида (формулы приведены в символике Excel)

$$a = 10 - (b + c); \quad (4)$$

$$b = 5 - \text{ABS}(5 - X); \quad (5)$$

$$c = \text{ОКРУГЛВНИЗ}(1 + X^3 / 100; 0). \quad (6)$$

где  $a$  – кластер отсутствия симптома;  $b$  – кластер неопределенности симптома;  $c$  – кластер наличия симптома.

Кластер отсутствия симптома  $a$  формируется по остаточному принципу вычитанием суммы других кластеров от аддитивной константы. Максимум кластера неопределенности  $b$  достигается при выборе варианта лексической переменной, приводимого в соответ-

ствии с числом 5. Это достигается разницей среднего значения и модулем разницы среднего значения от значения выбранного варианта. Величина кластера наличия симптома  $c$  нарастает постепенной зависимостью ( $X^3$ ) от минимального значения, равного 1, до максимального – 8. Для обеспечения дискретности представлений результат вычисления округляется до минимального целого. При  $X = 5$ ,  $a = 3$ ,  $b = 5$  и  $c = 2$  согласно презумпции исправности  $a > c$ .

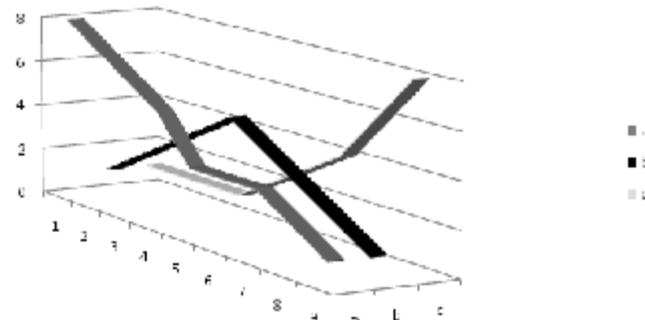


Рис. 2. Графики функций принадлежности симптомов кластерам состояний

Графики данных функции приведены на рисунке 2. Предлагаемая модель оценки неопределенности, имитируя рассуждения об объекте, алгоритмах и результатах диагностирования, делает их быстрыми и безошибочными.

Для оценки корректности диагностических заключений нами предложено использовать «оператор сомнений» вида

$$P_x = 1 - \prod p_n Q_x^N N^N, \quad (7)$$

где  $P_x$  – определенность неисправности диагностируемой системы  $E_x$ ;  $p_n$  – определенность неисправности элемента  $n$  системы  $E_x$ ;  $N$  – общее число диагностируемых элементов системы  $E_x$ ;  $Q_x$  – размерный коэффициент.

При этом

$$E_x \equiv \sum p_n Q_x = 1. \quad (8)$$

Из (8) следует

$$Q_x = 1 / \sum p_n. \quad (9)$$

Предикат (7) справедлив для системы, состоящей как из исправных, так и из неисправных элементов, при этом исправных элементов должно быть больше чем неисправных. Формирование системы  $E_x$  из элементов множества  $Ma$  для соблюдения справедливости выражения (7) должно отвечать требованию иерархического равенства и системной независимости элементов, то есть каждый из рассматриваемых элементов потенциально может быть ее носителем, причем одни рассматриваемые элементы не могут включать в себя другие в качестве составных частей. Выражение чувствительно к степени контрастности получаемых диагностических данных. Чем больше различаются значения данных, тем более информативным является диагностирование.

Для пояснения свойств данного оператора составим демонстрационную функцию и построим график для двух элементов  $a$  и  $b$ , таких что

$$f(p) = a \times b \times n^n, \text{ при } b = 1 - a,$$

$$a \in \{0,1; 0,9\}, n = 2. \quad (10)$$

В результате имеем функцию

$$f(p) = 4(a - a^2). \quad (11)$$

График данной функции на отрезке значений аргумента [0,1; 0,9] (рис. 3) представляет собой параболу, что близко к классическому пониманию свойств энтропии.

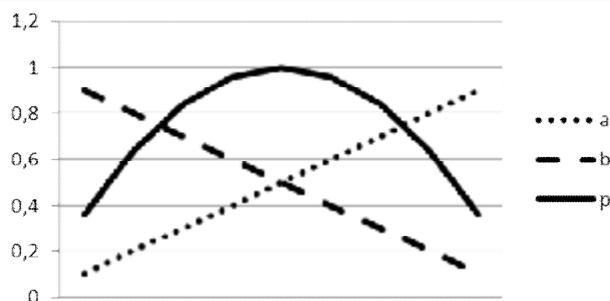


Рис. 3. График демонстрационной функции «оператора сомнений»

Подтверждением является график функции количества информации  $H$  необходимого для разрешения неопределенности (формула Шеннона) при двоичном исходе  $p$  и  $(1 - p)$  [6]

$$H = p \log_2 \frac{1}{p} + (1 - p) \log_2 \frac{1}{1 - p}. \quad (12)$$

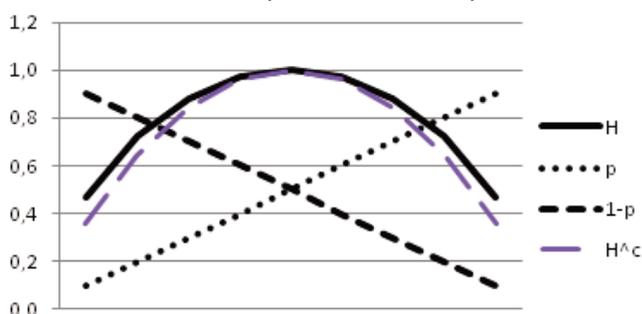


Рис. 4. Графики функций Шеннона ( $H$ ) и степенной ( $H^{1,35}$ )

На рисунке 4 приведен графический вид данной зависимости. Сравнивая графики, представленные на рисунках 3 и 4, при некоторой разнице в абсолютных значениях, оказывается, что характер зависимостей представляет собой параболу. Использование степенного коэффициента 1,35 можно достичь совпадения зависимостей до третьего знака после запятой (на рисунке 4 кривая  $H^{1,35}$ ).

Неравновероятность вариантов (исходов) снижает степень неопределенности и, тем самым, уменьшает количество информации, необходимой для ее разрешения. По мере накопления информации и возрастания определенности ценность информации падает, а при превышении заданного порога определенности она теряет ценность и считается избыточной.

Таким образом, предлагаемый «оператор сомнения» позволяет автоматизировать процесс определения эффективности получения и достоверность диагностического заключения и является индикатором ценности (значимости) получаемой совокупности диагностических данных.

Система позволяет объединить разрозненные данные в единый информационный блок. На начальном этапе вводятся данные, получаемые в результате опроса клиента и тест-драйва (эксплуатационные симптомы). Этот базис симптомов дополняется информацией, получаемой в результате экспресс диагностирования (кодов само диагностирования, изменения тока высокого напряжения системы зажигания, виброколебаний двигателя, динамических параметров отработавших газов и относительной компрессии цилиндров по току стартера). Далее в автоматическом режиме производится распределение весов возможных неисправностей по кластерам состояний элементов систем двигателя. При этом вычисления опираются на экспресс-диагностирование по результатам нарушений воспламенения и сгорания топливоздушных смеси в цилиндрах. На следующем шаге производится углубленная проверка наиболее вероятного предположения с использованием базы справочной информации AutoDATA. Результат обладает высокой достоверностью.

Заключение. Исследована возможность повышения достоверности виброакустического диагностирования использованием компьютерных средств для анализа получаемой информации. Особенностью диагностирования автомобильных двигателей (как сложной системы) по параметрам виброакустических колебаний является многозначность информации, содержащейся в сигнале. Представление информации на основе постулатов теории нечетких множеств облегчает ее использование.

Порядок выполнения операций при диагностировании определяется диагностической программой, состоящей из математических и логически связанных алгоритмов. Предлагаемая методика отличается от существующих в других областях техники учетом конструктивных особенностей автомобильных двигателей и используемых для диагностирования инструментальных средств.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Левин, А.И. Концепция и технологии компьютерного сопровождения процессов жизненного цикла продукции / А.И. Левин, Е.В. Судов // Информационные технологии в наукоемком машиностроении. Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса; под ред. А.Г. Братухина. – Киев: Техника. – 2001. – С. 612–625.
2. Харкевич, А.А. О ценности информации / А.А. Харкевич. // Проблемы кибернетики. – Вып. 4. – М.: Физматгиз, 1960, С. 53–57.
3. Теория информации и ее приложения (сб. переводов); под ред. А.А. Харкевича. – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 1959. – 328 с.
4. Вятчинин, Д.А. Нечеткие методы автоматической классификации / Д.А. Вятчинин. – Минск: Технопринт, 2004. – 219 с.
5. Орлов, А.И. Системная нечеткая интервальная математика: монография (научное издание) / А.И. Орлов, Е.В. Луценко. – Краснодар, КубГАУ. 2014. – 600 с.
6. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. – 830 с.

Материал поступил в редакцию 12.01.15

#### IVANOU V.P., UVAROU G.A. Perfection of system of diagnosing petrol automobile engines

In article it is offered to automate the analysis of the data received tool vibroacoustic by a method together with the data of other methods, thus, for overcoming of combinatory complexity it is offered to use a mathematical apparatus indistinct clustering.

УДК 66.013.8

Иванов В.П., Дронченко В.А.

### РАЗРУШЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА ДВУХ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ ЭМУЛЬГИРОВАНИИ

**Введение.** Свежие растворы технических моющих средств умеренно токсичны, но по мере использования и накопления в них неф-

тепродуктов становятся пожароопасными и более токсичными [1]. Это представляет угрозу здоровью и жизни работающих. Вопросы,

Дронченко Владимир Александрович, старший преподаватель кафедры механики Полоцкого государственного университета, e-mail: v.dronchenko@psu.by, Беларусь, 211440, г. Новополоцк, Витебской обл., ул. Блохина, 29.