

Для получения эталонных цветовых образов разработана палитра, состоящая из 10×10 цветовых ячеек, причем в угловых ячейках палитры представлены основные полиграфические цвета стандартной системы СМУК (С — cyan; М — magenta; Y — yellow; К — black). Остальные цветовые оттенки ячеек палитры представляют собой смесь основных цветов системы СМУК — с убыванием одного цвета и возрастанием другого цвета на 10% при переходе от одной ячейки к другой. Кроме этого получены линейки (по 10 ячеек) цветовых оттенков, наиболее близких к основным оттенкам почвенных образцов. Насыщенность цвета в каждой линейке равномерно уменьшается с постепенным переходом к белому цвету (уменьшение насыщенности цвета в каждой последующей ячейке составляет 10%). Данная система эталонных цветовых образов выбрана в связи с тем, что при необходимости точной идентификации цвета палитры и, соответственно, цветового оттенка почвы, имеется возможность воспользоваться системами именованных цветов, например Pantone (R).

С использованием разработанной палитры получали поверхности значений коэффициентов отражения для каждого цвета оптического излучения (рис. 3).

Путем сравнения системы коэффициентов отражения почвенных образцов и эталонных поверхностей с помощью выражения (2) определяли величину евклидова расстояния. По минимуму данного расстояния выбирали цветовую ячейку палитры, соответствующую оттенку исследуемой почвы. Например, цвету темно-серой почвы соответствует ячейка 1, расположенная во втором ряду от линии «КМ» и линии «KY», а цвету светло-серой почвы — ячейка 2, которая находится в четвертом ряду от линии «КМ» и в третьем ряду от линии «KY». Таким образом, по значениям коэффициентов отражения, получаемым с использованием разработанной сенсорной системы, определяется цвет исследуемой почвы. Это дает возможность идентификации почвы по набору эталонных почвенных образцов, сведения, о качестве которых содержатся в базе данных интеллектуальной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко В. М., Гулай А. В., Лученок С. А. Светоцветовой метод эволюционной диагностики почв для технологии точного земледелия // Межведомственный сборник научно-методических статей «Теоретическая и прикладная механика» — 2006. — Вып. 20. — С. 198–208.
2. Колешко В. М., Гулай А. В., Лученок С. А. Интеллектуальные мехатронные системы в машиностроении для точного земледелия // Республиканский межведомственный сборник научных трудов «Машиностроение» — 2007. — Вып. 22. — С. 215–219.
3. Колешко В. М., Гулай А. В., Лученок С. А. Формирование светоцветового информационного образа почвы в технологии точного земледелия // Научно-технический международный журнал «Теоретическая и прикладная механика» — 2007. — Вып. 22. — С. 279–286.

УДК 532.137

Сунка В.Я., Польшкова Е.В., Колешко Л.А.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКОСТИ-ПЛОТНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Создание надежных, информативных, обладающих высокими метрологическими свойствами промышленных интеллектуальных сенсорных систем (ИСС) измерения динамической вязкости и плотности жидкостей возможно на основе вибрационных методов. Среди вибрационных измерительных зондов в виде тела правильной геометрической формы наибольшее распространение получили зонды с изгибными колебаниями. К хорошо известным требованиям повышения точности и надежности, ужесточения эксплуатационных режимов, уменьшения габаритов и повышения экономичности, добавляются, в соответствии с мировыми стандартами

серии IEEE 1451 требования по интерфейсу ИСС измерения как в составе автономной мини ЭВМ автоматического контроля и управления, так и при передаче информации по беспроводным каналам связи в соответствии с требованиями мировых стандартов IEEE 802.11- 802.16.

При изгибных колебаниях зонда вязкая среда оказывает его движению механическое комплексное сопротивление (импеданс) $Z_m = Re_z + i Im_z$. Активная составляющая импеданса Z_m обусловлена: излучением звуковой энергии в окружающую жидкость R_{a2} и потерями на вязкое трение R_{a1} в тонком пограничном слое. Реактивная составляющая импеданса Z_m также определяется двумя составляющими. Первая - R_{p1} обусловлена тем, что зонд перемещает с собой некоторый объем присоединенной массы M_0 вязкой жидкости. Величина R_{p1} пропорциональна частоте колебаний зонда и величине M_0 , а от вязкости жидкости не зависит. Вторая составляющая R_{p2} обусловлена перемещением массы вязкой жидкости пограничного слоя. Теоретически пограничный слой жидкости оказывает колеблющемуся зонду активное R_{a1} и реактивное R_{p2} сопротивления, равные по величине и пропорциональные значению $(\eta \cdot \rho_{ж} \cdot \omega)^{0,5}$, где η , $\rho_{ж}$, и ω - динамическая вязкость, плотность контролируемой жидкости и частота изгибных колебаний измерительного зонда. Таким образом, независимо от конструкции измерительного зонда функцией вязкости всегда выступает активное или реактивное сопротивление импеданса пограничного слоя жидкости, которые необходимо измерять известными методами.

При колебаниях измерительного зонда в воздухе он характеризуется собственной резонансной частотой ω_0 и механической добротностью Q_m , определяемой внутренними активными потерями. При погружении вибрационного зонда в вязкую жидкость его исходные параметры изменяются. Присоединенная масса всегда понижает резонансную частоту зонда (контроль плотности), а вязкое трение вносит дополнительные активные потери. Для измерительных зондов потери на вязкое трение в жидкости сравнимы с внутренними активными потерями вибрационных зондов или же во много раз могут превышать их при измерении очень вязких жидкостей ($\eta \gg (0,1 \div 10)$ Па·с). Определение вязкости ведется по активной составляющей импеданса Z_m среды - контроль амплитуды механических колебаний, декремента затухания или фазового соотношения между возбуждающей силой и скоростью колебаний зонда.

Для уменьшения влияния сдвиговой упругости жидкости и учета ряда практических соображений использование низко(инфра) частотных вибрационных зондов (10-200 Гц) чрезвычайно важно для повышении точности измерений и расширения диапазона контролируемых сред.

Для жидкостей с динамической вязкостью $\eta \leq (5 \div 25)$ Па·с целесообразнее использовать автоколебательный (амплитудный) метод измерения вязкости жидкостей, как наиболее простой, легко поддающийся автоматизации и обеспечивающий наивысшую теоретически возможную чувствительность измерительного зонда изгибных колебаний по вязкости. Измеряют максимальную (резонансную) амплитуду механических колебаний приемного преобразователя вибрационного зонда – цилиндрического стержня, камертона. Основные недостатки автоколебательных вискозиметров: неравномерность (до 2-3 порядков) чувствительности по измеряемому диапазону вязкостей, нелинейная и обратная зависимость показаний [1,2]. Для исключения недостатков автоколебательного метода предложен компенсационный автоколебательный метод и изготовлены образцы вибрационных вискозиметров [3-5]. Суть компенсационного метода измерения состоит в том, что амплитуда механических колебаний измерительного зонда поддерживается постоянной за счет соответствующего изменения величины возбуждающей силы (электрической мощности, тока) возбуждающего преобразователя зонда. Величина возбуждающей силы преобразователя зонда является мерой вязкости контролируемой жидкости, при этом зависимость между этими параметрами прямая и практически линейная.

На рис. 1 приведены некоторые параметры вибрационных зондов, совершающих изгибные колебания и используемых в вискозиметрах [4-5]. Частоту резонанса f и коэффициент демпфирования D_m зонда (круглый стержень) рассчитывают по выражениям

$$f = \frac{1}{2\pi} (3,534/l^2) \sqrt{\frac{E r^4 \pi}{4m_0}}, \quad (1)$$

$$D_{н} = \frac{\sqrt{\eta\rho_{ж}}}{r\rho_{з}\sqrt{2\omega_0}} \quad (2)$$

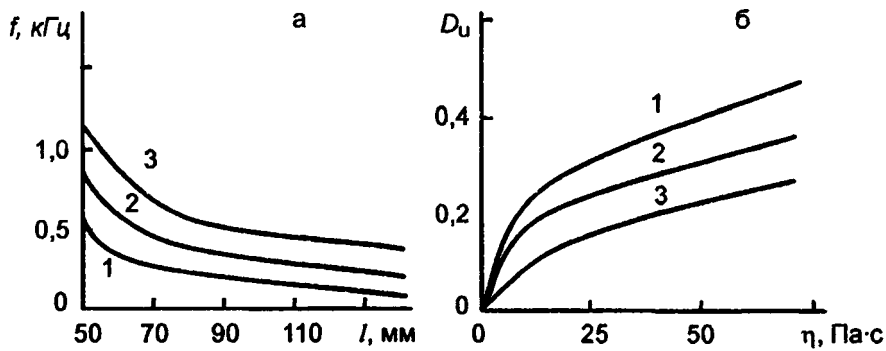
где l , r , $\rho_{з}$, E и m_0 – длина, радиус, плотность, модуль Юнга и масса единичной длины зонда.

Частота колебаний зонда выбиралась в пределах (100-200) Гц (рис. 1,а). Для контролируемой жидкости с $\rho_{ж} = 880 \text{ кг/м}^3$ величина безразмерного коэффициента демпфирования $D_{н}$ для зонда с $r = 2-4 \text{ мм}$ при увеличении вязкости от 10^{-3} до $50 \text{ Па}\cdot\text{с}$ увеличивается от нулевого до значений $D_{н} = 0,3-0,4$. При этом, чем меньше радиус зонда тем больше чувствительность (выше значение $D_{н}$) (рис. 1,б).

Чувствительность вибрационного вискозиметра к величине вязкого демпфирования зонда контролируемой жидкостью для автоколебательного и компенсационного методов имеет единое выражение

$$C_{A,F} = dA/dD = dF/dD = (\chi + D + \chi D)^2 \quad (3)$$

где F – возбуждающая сила; A – амплитуда механических колебаний зонда, нормированная по предельной амплитуде механических колебаний при частоте, стремящейся к нулю; $\chi = 1/Q_m$ – тангенс угла механических потерь упругого подвеса мембраны вибрационного зонда, Q_m – механическая добротность. Для качественных зондов величина $\chi = 10^{-2} - 10^{-5}$. Из выражения (3) очевидна обратная зависимость чувствительности $C_{A,F}$ от величин механических потерь χ и коэффициента демпфирования $D_{н}$.



где 1,2,3 – $r = 2$; 3 и 4 мм

Рис. 1. Зависимость резонансной частоты f (а) и коэффициента демпфирования $D_{н}$ (б)

При конструировании вибрационных вискозиметров материал для измерительного зонда должен обладать малыми несовершенствами упругости, высокой релаксационной стойкостью, стабильностью упругих свойств во времени и в переменных внешних условиях, необходимой коррозионной стойкостью при работе с агрессивными средами. В качестве материалов для виброчастотных зондов используют стали и сплавы. Для образцовых и 1-го класса ИСС измерения вязкости и плотности при работе в агрессивных средах и повышенной температуре для изготовления вибрационных зондов используют элинварный сплав 44НХТЮ – ферритмагнитной сплав с железохромоникелевой основой с добавками титана и алюминия. Для высокого класса ИСС вибровискозиметрии при измерении неагрессивных жидких сред и при небольшом температурном диапазоне окружающей среды для изготовления вибрационных зондов хорошо использовать хромкремниймарганцевистую сталь 35ХГСА. Для ИСС измерения вязкости общего назначения виброчастотные зонды можно изготавливать из сталей 35ХГС, 50ХГА, 50ХФА, а также из сталей 20Х13 и 40Х13.

Данная ИСС использовалась в составе агрегата приготовления вязких гомогенных и гетерогенных (смесь вязкой несущей жидкости с твердыми частицами, находящимися во взвешенном состоянии) для измерения вязкости и плотности рабочих жидкостей при проведении технологического процесса глубоко проникающего гидроразрыва нефтегазовых пластов для

повышения дебета скважин. Конструктивно рассматриваемая ИСС измерения вязкости-плотности состоит из вибрационного измерительного зонда и электронного блока (рис. 2).

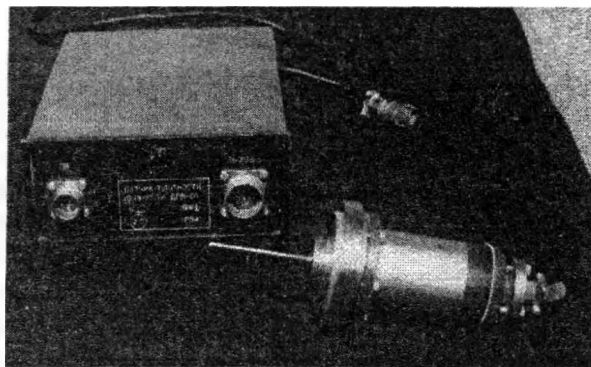


Рис. 2. Внешний вид вибрационной ИСС измерения вязкости-плотности

Зонд выполнен в виде двух полуволновых круглых стальных цилиндров и механически закреплен в узловой плоскости изгибных колебаний. Рабочий конец зонда опускается в контролируемую жидкость, а на другом его конце в непосредственной близости к нему расположены 4-е электромагнитных системы (катушки). В целом вибрационный зонд представляет собой высокочастотную ($Q_m \geq 200$) электромеханическую систему, состоящую из двух поляризованных электромагнитных звеньев-преобразователей: возбуждающего и приемного, расположенных вблизи свободного конца зонда. В межплоскостном пространстве электромагнитных катушек преобразователей помещена магнитомягкая стержневая вставка (зонд). Поляризованные электромагнитные системы вибратора (зонда) состоят из Ш-образного магнитопровода из магнитомягкого материала и постоянного магнита, выполненного из спецсплава. Постоянный магнит впрессован в магнитопровод и установлен внутри каркаса катушки. Каждая поляризованная электромагнитная система состоит из двух последовательно включенных индуктивностей с магнитопроводами, установленными разноименными полюсами встречно.

Один из преобразователей служит для возбуждения зонда, а другой – используется для измерения амплитуды механических колебаний рабочего конца зонда. Измерение вязкости компенсационным методом ведут по величине возбуждающей силы при постоянной величине амплитуды механических колебаний, а измерение плотности – по величине резонансной частоты нагруженного жидкостью вибр зонда.

Разработанная ИСС (рис. 2) с микроконтроллерами на выходе [4,5], представлена на рисунке 2. На рисунке 3 приведена функциональная схема ИСС, выполненной на основе предложенного компенсационного автоколебательного метода. В измерительной емкости (резервуар или трубопровод) контролируемой вязкостью помещается вибрационный зонд 1. Возбуждающий 2 и приемный 3 преобразователи зонда включены к входу и выходу синхрокольца усилительного тракта схемы самовозбуждения электронного блока и являются элементами механической обратной связи колебательных звеньев зонда. Кольцо самовозбуждения, кроме усилителей, содержит фазовращатель 4, обеспечивающий баланс фаз, при котором автоматически устанавливается резонансная частота автоколебаний зонда 1. Усилитель-ограничитель 5 исключает нестабильность кольцевого усиления электронного тракта на выходные показания вискозиметра. Полосовой фильтр 6 выделяет первую гармонику напряжения возбуждения усилителя-ограничителя 5 и подает его на вход согласующего усилителя 7, что и обеспечивает чисто гармонические (синусоидальные) колебания возбуждающего преобразователя 2 измерительного зонда 1.

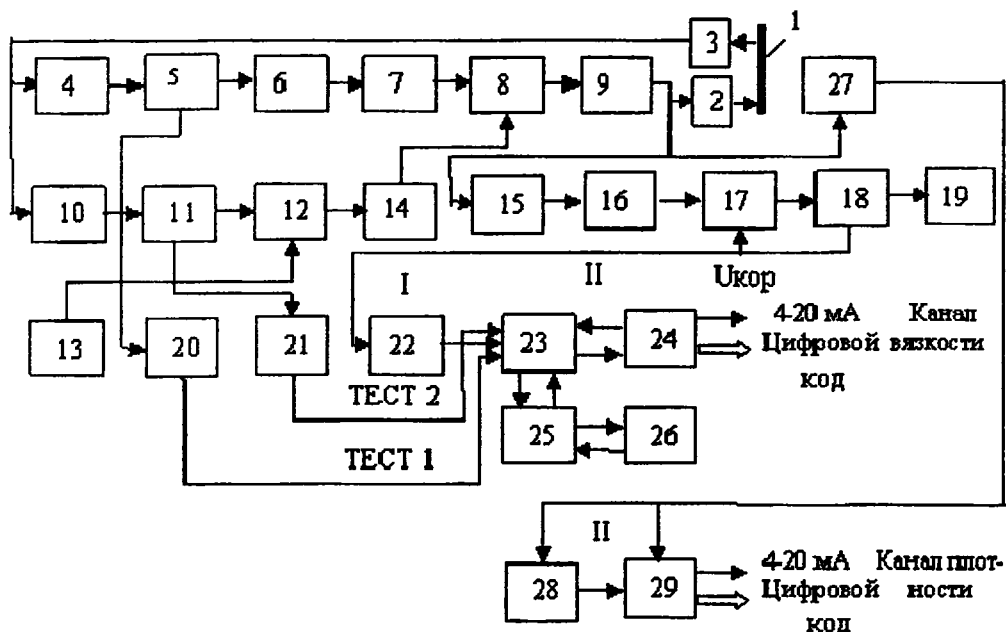


Рис. 3. Функциональная схема ИСС измерения плотности-вязкости

Для регулирования величины возбуждающей силы (электрической мощности, силы тока), подаваемой на обмотку возбуждения 2 зонда, служит управляемый аттенюатор 8, регулирующий амплитуду входного напряжения усилителя мощности 9. Аттенюатор 8 имеет регулируемый коэффициент усиления, величина которого изменяется в широких пределах при помощи сборки полевых транзисторов. Для изменения тока возбуждения обмотки 2, переменное напряжение с выхода приемной электромагнитной обмотки преобразователя 3 зонда 1 усиливается в блоке 10, затем детектируется в блоке 11 в постоянное напряжение, которое и подается на один из входов сравнивающего устройства 12, на второй вход которого подается постоянное напряжение от эталонного источника напряжения 13. С выхода усилителя-ограничителя 14 постоянное управляющее напряжение подается на вход аттенюатора 8 для изменения напряжения усилителя мощности 9. Выходное напряжение усилителя мощности 9 изменяется до тех пор, пока амплитуда колебаний зонда 1 не достигнет заданного исходного уровня, обусловленного величиной измеряемой вязкости.

Для отсчета информации о вязкости контролируемой жидкости электрическое напряжение с выхода усилителя мощности 9 через согласующий усилитель 15 детектируется в блоке 16 в постоянное напряжение и подается на один из входов сумматора 17, на второй вход которого подается напряжение Укор для корректировки на нулевое значение выхода вискозиметра при работе зонда в воздухе. Напряжение от сумматора 17 подается на схему линеаризации 18, выходное напряжение которой используется как для визуального наблюдения на индикаторе 19.

Связь ИСС вязкости и плотности с мини ЭВМ организуется через 12-и разрядный интерфейс. Для канала вязкости аналоговая информация со схемы 18 в виде выходного унифицированного тока (4-20) мА подается на вход интерфейса, состоящего из модуля преобразования I и модуля измерения и обработки II. В модуле I входное напряжение преобразуется интегрирующим АЦП (преобразователь напряжение – частота КР1108ПП) 22 в частоту $f = (2,5-12,5)$ кГц. Модуль II включает микроконтроллер 23 (КР 1835ВГ14), буферный регистр 25 (КР588ИР), постоянное перепрограммируемое запоминающее устройство (ППЗУ) 26 (КС573РФ2) и 4-х канальный блок 24 выхода интерфейса со входом мини ЭВМ.

Для измерения плотности жидкости выходное напряжение усилителя мощности 9 ($f=100-200$ Гц) подается в блок 27 формирования временной длительности полупериода частоты возбуждающего преобразователя 2 измерительного зонда. Затем прямоугольные импульсы с

выхода блока 27 подаются в модуль измерения и обработки информации о плотности 29, аналогичный блоку II в канале измерения вязкости. Для получения унифицированного тока (4-20) мА, пропорционального плотности контролируемой жидкости, используют интегрирующий преобразователь длительность импульса - ток (напряжение) 28.

Для повышения надежности обрабатываемой и передаваемой информации вводятся элементы самотестирования, а также 4-х канальные (информационные и синхронизирующие) цифровые выходы, при этом согласователи 24 выполнены на развязывающих оптопарах. В ПЗУ 26 записываются программы для работы интерфейсов отдельно по каналам плотности и вязкости. Программа обеспечивает прием импульсов, измерение частоты АЦП, ее усреднение по пяти точкам и преобразование этой частоты в 8-ми разрядный ток. Для самотестирования формируются две посылки в 1-й и 2-й разряды информационного слова о нахождении величины измеряемой вязкости или плотности в заданном диапазоне измерения. При правильной работе канала приемного преобразователя 2 зонда 1 напряжение усилителя 5 детектируется в схеме 20 и в виде посылки ТЕСТ 1 подается на вход микроконтроллера. При правильной работе канала возбуждения зонда 1 постоянное напряжение с выхода блока 11 через детектор уровней 21 в виде посылки ТЕСТ 2 также подается на вход микроконтроллера 23. Тестовые сигналы ТЕСТ 1 и ТЕСТ 2 затем формируются в информационном слове в 0-м и 3-ем разрядах цифровых выходных кодов отдельно по каналу вязкости и каналу плотности.

Зная исходные величины η и $\rho_{ж}$ гомогенной вязкой среды при непрерывном введении в ее состав твердых сыпучих примесей сферической формы диаметром частиц (0,8÷1,2) мм измеряют величины плотности и приведенной динамической вязкости ($\eta_{с} \cdot \rho_{жс}$) 0,5 гетерогенной смеси. По приведенной вязкости находят реальную динамическую вязкость $\eta_{с}$ смеси делением ее на численное значение плотности. Определение концентрации добавок и плотности смеси ведут на основании поправок Эйнштейна [6].

Все управляющие и вычислительные операции по измерительному процессу, вычислительные операции по определению концентрации добавок, плотности и вязкости, а также формирование управляющих и унифицированных аналоговых (ток 4÷20 мА) и цифровых (N – разрядных) кодов отдельно по каналам вязкости и плотности ведутся с помощью двух встроенных микроконтроллерных интерфейсов. Такие интеллектуальные ИСС по определению относят к микросистемной технике.

На рисунках 4 и 5 в качестве примера приведены экспериментальные зависимости величин вязкостей полиэмульсии ПЭГН-1 и углеводородного геля НГА 37/44 и плотности применительно к рабочим жидкостям (смесь углеводородного геля с пропантом) гидроразрыва нефтяных пластов.

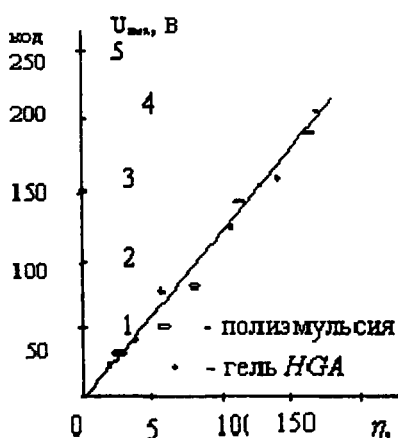


Рис. 4. Зависимость вязкости исходной фазы песка (пропанто) несущей рабочей смеси для гидроразрыва

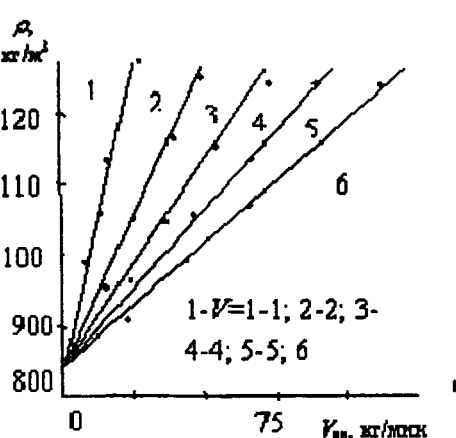


Рис. 5. Зависимость плотности жидкости кости гидроразрыва от скорости ввода пропанта $V_{пр}$ при различных объемах закачки в скважину

Лучшие отечественные и зарубежные образцы автоколебательных (амплитудных) вибрационных вискозиметров на изгибных колебаниях стержней или камертонов имеют погрешность $0,3 \div 1,0$ % [3-5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Крутин В.Н. Колебательные вискозиметры и пути их совершенствования//Сборник научных трудов. Под ред. Чл. корр. АН СССР С.С. Кутателадзе.- Новосибирск: 1976. - С. 8-28.
2. Крутин В.Н., Смирницкий И.Б. К методике расчета колебательных крутильных вискозиметров с сосредоточенными параметрами // Зав. лаборатория. 1975.- № 4. - С.461-466.
3. Дзюба А.П., Крутин В.Н., Ушаков Л.А. и др. Разработка вибрационного вискозиметра общепромышленного назначения и опыт его внедрения//Сборник научных трудов. Под ред. Чл. корр. АН СССР С.С. Кутателадзе.- Новосибирск: 1976. - С. 78-87.
4. Колешко В.М., Сунка В.Я. Электронный прибор для измерения плотности-вязкости нефтепродуктов-//Серия Материалы, технология, инструменты. 1997. - №1. - С. 96-99.
5. Колешко В.М., Сунка В.Я. Реанимация нефтегазовых скважин.- Мн.: 1996.- 60 с.
6. Лойцянский А.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука. 1987.

УДК 612.821.8:331.46

Колешко В.М., Воробей Е.А., Азизов П.М., Худницкий А.А.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА С АНАЛИЗОМ МОЗГОВЫХ ВОЛН НА ПРОИЗВОДСТВЕ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Разработка интеллектуальных систем управления объектом на основе синхронной активности нейронов приобретает в настоящее время существенную значимость в биоинформатике, здравоохранении, экологической, промышленной, индивидуальной и национальной безопасности, где развитие нейрокомпьютерных технологий открывает широкие практические возможности применения для:

- улучшения и обеспечения безопасности жизни, как здоровых людей, так и тех, кто лишен способности нормального существования;
- осуществления чтения мыслей у чиновников-коррупционеров;
- содействия в комбинации с методами чтения мыслей у согласных на это людей (магистров, аспирантов, докторантов, профессоров) лучшему пониманию функций и тайн мозга человека;
- обеспечения связи с людьми, уворованных террористами, погребенными под руинами после взрывов, землетрясений и других чрезвычайных ситуаций;
- предотвращения незаметной передачи информации охраняемому объекту;
- интеллектуальной поддержки чиновников власти на их публичных выступлениях и пресс-конференциях;
- упорядоченного поведения массы людей при чрезвычайных ситуациях, например, посылая предупреждения о надвигающихся катастрофах;
- профилактики и лечения некоторых патологических недостатков в головном мозге и снятия стрессовых ситуаций;
- интеллектуального управления бытовой и специальной техникой, а также множество различных применений благодаря творчеству умных людей.

Однако основные проблемы при реализации подобных систем связаны прежде всего с эффективной обработкой данных, например, электроэнцефалограммы (ЭЭГ) головного мозга, которая активно применяется в мозговом компьютерном интерфейсе, а также в создании интеллектуальных оптимизированных методов их классификации для достижения высокой точ-