



ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

И. Н. АХВЕРДОВ, В. И. ЗУБКО, А. И. ЛЕСНИКОВИЧ, Д. В. ЗУБКО

Исследовано влияние наполнителей (песка, лигнина, резиновой крошки) на электрические свойства полимерных композиций в диапазоне частот электрического поля $10^2 \dots 10^6$ Гц. Установлено, что электрические характеристики (относительная диэлектрическая проницаемость, удельное электрическое сопротивление, тангенс угла диэлектрических потерь) полимерных композиций наиболее чувствительны к изменению их состава на частоте 10^2 Гц. Результаты исследований положены в основу разработки оперативного метода контроля и диагностики электрических свойств создаваемых полимерных композиций.

An effect of filling agents (sand, lignin, rubber crumps) on electrical properties of polymer compositions in electric field frequency range of $10^2 \dots 10^6$ Hz was examined. It was determined, that polymer composition electrical properties (relative permittivity, specific electric resistance, dielectric dissipation) are the most sensitive to the change of their composition at a frequency of 10^2 Hz. Research results were the basis for development of an on-line testing and diagnostic technique of produced polymer compositions electrical properties.

Разработка методов оперативного контроля и диагностики электрических свойств полимерных композиций становится в настоящее время одним из перспективных направлений при решении научных и прикладных задач [1–4]. Диэлектрическая спектроскопия на оси частот электромагнитных колебаний занимает область частот от 0 до 10^{11} Гц, где обычно квантовые эффекты пренебрежимо малы ($h\nu \ll kT$). Широкодиапазонные электрические спектры полимерных композиций концентрируют информацию как о результатах воздействия электромагнитного поля на эти материалы, так и разнообразные сведения об их структуре, составе и свойствах. Однако возможности создания новых полимерных композиций с уникальными свойствами, заложенными в элементах ее структуры, используются в настоящее время далеко не в полной мере, что в первую очередь связано с недостаточным развитием методов оперативного контроля и диагностики электрических свойств данных материалов для проведения более глубоких исследований.

Выявление взаимосвязи между составами и электрическими свойствами полимерных композиций сдерживается методическими трудностями, и в первую очередь, связанными с разработкой высокочувствительных емкостных измерительных преобразователей и высокоточных методик для оперативного контроля и диагностики электрических свойств полимерных композиций в широком диапазоне частот электрического поля. При этом такие электрические показатели, как отно-

сительная диэлектрическая проницаемость (ϵ), удельное электрическое сопротивление (ρ) и тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) значительно зависят от изменения количественного состава полимерных композиций (наполнителя и связующего) и могут быть использованы для оперативного контроля и диагностики их электрических свойств.

Развитие оперативных методов контроля и диагностики электрических свойств полимерных материалов, включающих исследование и разработку высокочувствительных емкостных измерительных преобразователей и высокоточных методик, несомненно, послужит стимулом для исследования электрических свойств широкого класса жидко- и твердодисперсных материалов (от биологических объектов, полимерных композиций до бетонов и почв).

Полимерные композиции, наполнителями которых являются песок, лигнин, резиновая крошка и др., открывают новые возможности для использования их в электротехнической промышленности в качестве электроизоляционных либо электропроводящих материалов.

В этой связи можно полагать, что оперативный контроль и диагностика электрических свойств создаваемых полимерных композиций электротехнического назначения является весьма актуальной проблемой как в научном, так и в практическом плане.

Так, по прогнозам Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро,



1992), объем твердых отходов к 2025 г. вырастет в 4–5 раз. Общемировые запасы изношенных автошин оцениваются в 25 млн т при ежегодном приросте не менее 7 млн т. На европейские страны приходится 3 млрд шт. «накоплений» изношенных автошин (около 2 млн т), на страны Северной Америки — 1 млрд шт. в мире 70 % этого количества никак не утилизируется. Так, в США отходы пластмасс составляют 9 млн т, странах Западной Европы — 7, в Японии — 3 млн т в год. Значительные объемы отходов пластмасс имеются в России и Республике Беларусь.

В промышленно развитых странах большие объемы вторичных полимеров создают серьезную экологическую проблему. Увеличение объема использования пластмасс в различных областях техники делает актуальной задачу утилизации вторичных полимеров. Поэтому их использование для создания композиционных материалов с заданными электроизоляционными или электропроводящими свойствами может найти применение как в электротехнической промышленности, так и в решении существующих экологических проблем. Основные направления утилизации — использование полимерных отходов в качестве связующего при производстве различных видов товарной продукции. Так, в ряде стран организовано производство пленки, труб, тротуарной плитки, кровельных материалов. В США из полимерных отходов уже создана вполне комфортабельная экспериментальная вилла. В Японии организован промышленный выпуск разнообразной одежды, изготовленной из выброшенных в утиль пластмассовых коробок, бутылок и других видов упаковки. В Республике Беларусь вторичные полимеры используются в качестве связующего компонента при получении кровельных материалов, а также различных видов полов.

Композиты на основе вторичных полимеров, наполнителями которых являются песок или лигнин, могут найти применение в электротехнической промышленности в качестве электроизоляционных материалов. Они будут значительно дешевле по сравнению с используемым в настоящее время первичным полимерным материалом, например, полиэтиленом. Композиты, с наполнителем резиновая крошка, полученная из вышедших из употребления шин, могут найти применение в качестве электропроводящих материалов для широкого круга объектов техники и в быту. В частности, они могут быть использованы для создания электронагревательных элементов, эластичных электродов и датчиков, гибких электрических экранов, точных копий сложного профиля, получаемых гальванопластическим методом, а также резиновых деталей для медицинских приборов, транспортёрных лент и воздухопроводов для угольных шахт, обуви и одежды, используемых в ус-

ловиях электрических полей высокой напряженности. Такие изделия могут быть существенно дешевле по сравнению с материалами, получаемыми из первичных полимеров. Актуальность данной проблемы заключается и в том, что вторичные полимеры планируется использовать для создания новых композиционных материалов электротехнического назначения, которые могут найти применение в электротехнической промышленности, при этом такие изделия могут быть значительно дешевле, чем изделия, получаемые из первичных полимерных материалов. С то же время, увеличение объема использования пластмасс в различных областях народного хозяйства делает актуальной задачу утилизации вторичных полимеров, образующихся из использованных изделий и будет способствовать решению существующей экологической проблемы [5–8].

Технология получения композиционных материалов на основе вторичных полимеров (ВПЭ) с наполнителями песок (П), лигнин (Л) или резиновая крошка (РК) состоит в следующем. Дробленку получали в результате измельчения вторичной полиэтиленовой пленки с помощью ножевой дробилки. Песок предварительно подвергали сушке при температуре 150...200 °С в течение 30...40 мин. На обогреваемые микровальцы при температуре 115...120 °С помещали определенное количество дробленки и добавляли соответствующие порции песка, затем смесь перемешивали в течение 5...7 мин до получения однородной массы. Из полученного вальцевого полотна методом горячего прессования при температуре 160...170 °С получали в течение 15...20 мин пластины композиционного материала заданных размеров. Технология получения композиционных материалов на основе вторичных полимеров с наполнителями резиновая крошка или лигнина содержит аналогичные операции, описанные в случае использования песка в качестве наполнителя. Резиновую крошку получали путем измельчения вышедших из употребления шин с помощью ножевой дробилки, а лигнин, получаемый при производстве этилового спирта, подвергали вначале помолу на дисковой мельнице, а затем сушке при температуре 90...100 °С в течение 50...60 мин.

Создаваемые композиционные материалы на основе вторичных полимеров открывают перспективу использования их в промышленности в качестве электроизоляционных либо электропроводящих материалов. В этой связи представляется важным исследование электрических свойств полимерных композиций в зависимости от состава при различных частотах электрического поля.

Для исследования электрических свойств полимерных композиций разработана методика, в основу которой положено раздельное измерение емкостной и активной составляющих импеданса.



Основой измерительного устройства является созданный высокочувствительный первичный емкостной преобразователь, электрический сигнал с которого поступает на вторичный цифровой прибор, имеющий канал общего пользования (КОП) для вывода текущих результатов контроля на монитор компьютера. Исследования электрических свойств полимерных композиций проводили на частотах: 10^2 , 10^3 , 10^4 и 10^6 Гц. Образец из полимерной композиции помещали в однородное переменное электрическое поле, создаваемое в межэлектродном пространстве измерительного конденсатора. Исследования электрических свойств полимерных композиций проводили при 20 °С. Точность определения электрических характеристик полимерных композиций составляет $\pm 1\%$.

В работе представлены результаты исследований влияния массовых соотношений песка (П), лигнина (Л) и резиновой крошки (РК) к вторичному полимеру (ВПЭ) на электрические характери-

сти полимерных композиций, исследуемых на частотах электрического поля 10^2 , 10^3 , 10^4 и 10^6 Гц (рис. 1).

Результаты исследований показали характерное понижение величин относительной диэлектрической проницаемости, удельного электрического сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь полимерных композиций с повышением частоты электрического поля. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь композиций, наполнителем в которой является лигнин, носит нелинейный характер и имеет минимум в исследуемой области частот. При этом величины диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь полимерных композиций, наполнителем которых являются песок или резиновая крошка, незначительно зависят от частоты электрического поля и носят практически линейный характер.

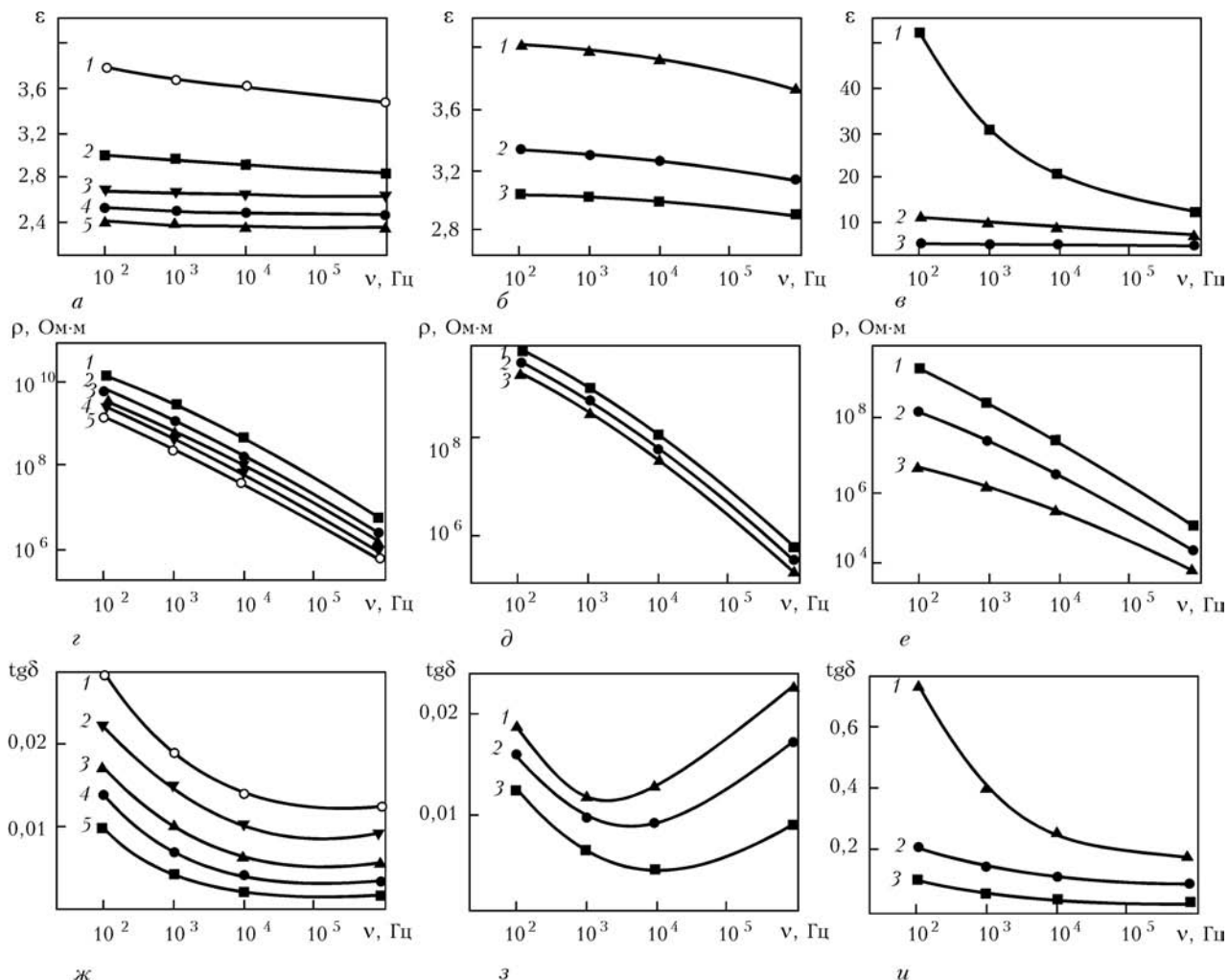


Рис. 1. Зависимость относительной диэлектрической проницаемости (а–в), удельного электрического сопротивления (з–е), тангенса угла диэлектрических потерь (ж–и) полимерных композиций от частоты электрического тока ($t = 20$ °С): а, з, ж — соответственно изменение ϵ , ρ , $\text{tg}\delta$ при значениях П/ВПЭ, равных 3 (1); 1 (2); 0,33 (3); 0 (4), 5 — изменение ϵ , ρ , $\text{tg}\delta$ для первичного полиэтилена; б, д, з — соответственно изменение ϵ , ρ , $\text{tg}\delta$ при значениях Л/ВПЭ, равных 3 (1); 1 (2); 0,33 (3); в, е, и — соответственно изменение ϵ , ρ , $\text{tg}\delta$ при значениях РК/ВПЭ, равных 3 (1), 1 (2), 0,33 (3)

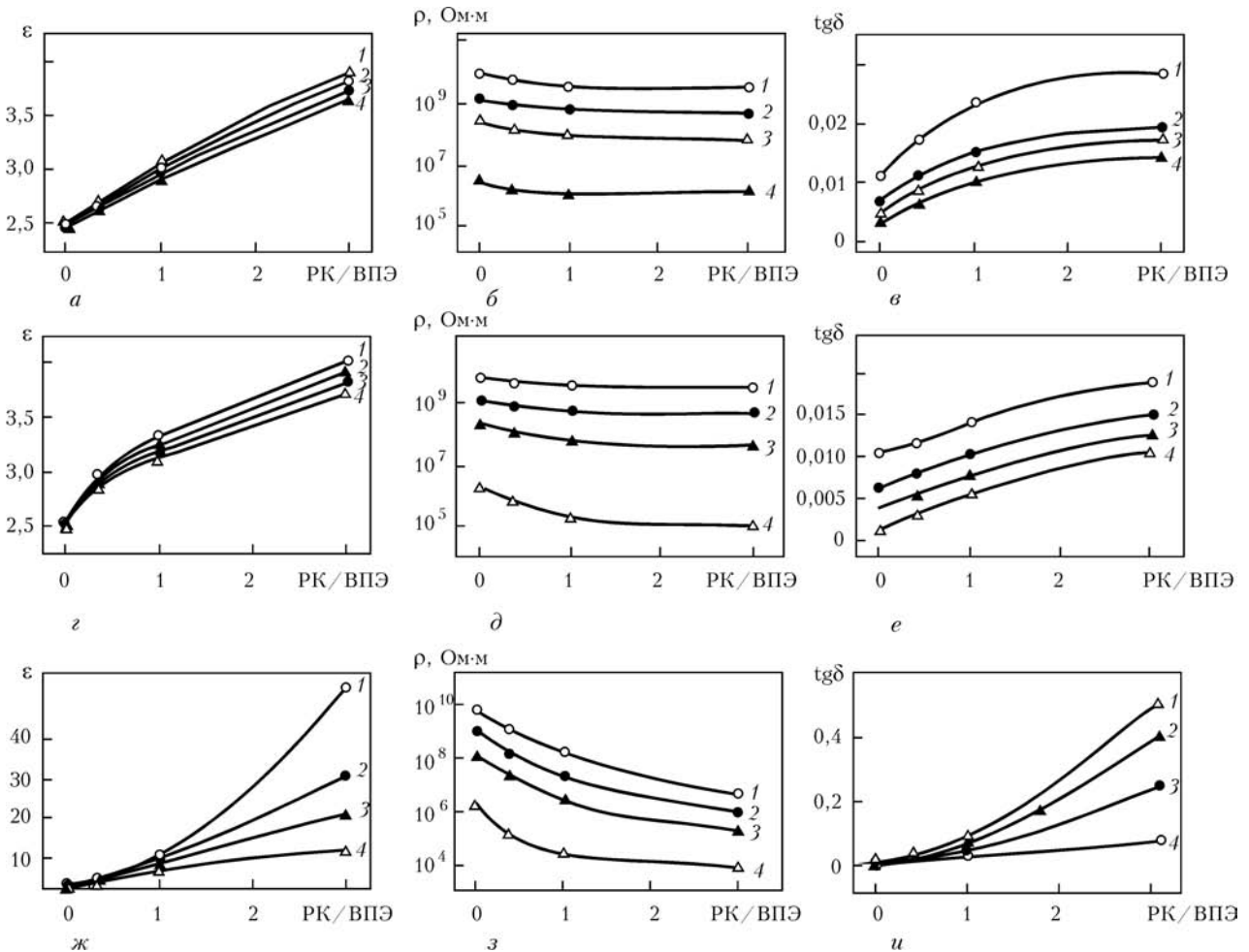


Рис. 2. Зависимость относительной диэлектрической проницаемости ϵ , удельного электрического сопротивления ρ и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ полимерных композиций от П/ВПЭ (а-в); Л/ВПЭ (z-е); РК/ВПЭ (ж-и) при $t = 20^\circ\text{C}$: 1-4 — изменения ϵ (а, z, ж), ρ (б, д, з), $\text{tg}\delta$ (в, е, и) при значениях ν , равных 10^2 , 10^3 , 10^4 и 10^6 Гц соответственно

В работе представлены результаты исследований влияния массовых соотношениях песка, лигнина и резиновой крошки к вторичному полиэтилену (ВПЭ) на электрические характеристики полимерных композиций для частот электрического поля 10^2 , 10^3 , 10^4 и 10^6 Гц (рис. 2). Из данных, представленных на рис. 2, видно, что общей тенденцией является возрастание величин ϵ и $\text{tg}\delta$ полимерных композиций с повышением отношений П/ВПЭ, Л/ВПЭ и РК/ВПЭ. Видно, что при относительно низких значениях П/ВПЭ, Л/ВПЭ и РК/ВПЭ имеет место наиболее выраженное понижение ρ , тогда как величины ϵ и $\text{tg}\delta$, наоборот, претерпевают большие изменения при относительно высоких отношениях наполнителя ко вторичному полиэтилену. Сравнительный анализ полученных экспериментальных данных показал, что наиболее значительные изменения по величине ϵ (примерно в 50 раз) при повышении отношения РК/ВПЭ от 0,33 до 3 наблюдаются на частоте 10^2 Гц. Величины ρ и $\text{tg}\delta$ полимерных композиций при повышении РК/ВПЭ от 0,33 до 3 изменяются на частоте 10^2 Гц от $5 \cdot 10^7$ до $5 \cdot 10^9$ Ом·м и от 0,1 до 0,5, соответственно (рис. 2, ж-и).

В то же время менее значительные изменения по величине ϵ происходят при использовании песка либо лигнина в качестве наполнителей. Так, например, при значениях П/ВПЭ или Л/ВПЭ, равных 3, величина ϵ полимерной композиции на частоте 10^2 Гц повышается примерно в 1,5 раза, тогда как ρ и $\text{tg}\delta$ понижаются от 10^{10} до 10^9 Ом·м и от 0,02 до 0,01, соответственно (рис. 2, а-е).

Вывод

Электрические характеристики полимерных композиций оказываются весьма чувствительными к изменению их состава. При фиксированном составе (что на практике означает применение одной и той же технологии) электрические характеристики полимерных композиций можно использовать для оценки их эксплуатационных свойств. Соответствующая оценка электрических свойств полимерных композиций осуществляется по величине, определяемой на частоте 10^2 Гц, как наиболее чувствительной к изменению их состава. Следует отметить, что в области отношений наполнителя к вторичному полиэтилену от 0 до 1 наиболее информативными электрическими ха-



рактеристиками являются удельное электрическое сопротивление и тангенс угла диэлектрических потерь полимерных композиций, тогда как в области отношений от 1 до 3 следует отдать предпочтение их диэлектрической проницаемости. Причем исключением является полимерная композиция, в которой наполнителем является резиновая крошка.

Полученные результаты исследований положены в основу разработки оперативного метода контроля и диагностики электрических свойств полимерных композиций в процессе их получения.

1. Челидзе Т. Л., Деревянко Л. И., Куриленко О. Д. Электрическая спектроскопия гетерогенных систем. — Киев: Наук. думка, 1977. — 230 с.

2. *Impedance spectroscopy: emphasizing solid materials and systems* / ed / J. R. Macdonald. — New York: Wiley, 1987. — 346 p.
3. Стойнов З. Б. Электрохимический импеданс / З. Б. Стойнов, Б. М. Графов, Б. Савова-Стойнова, В. В. Елкин. — М.: Наука, 1991. — 336 с.
5. *Наполнители для полимерных материалов* / Под ред. Г. С. Каца, Д. В. Милевски. — М.: Химия, 1981. — 736 с.
6. *Современные композиционные материалы*: Пер. с англ. / Под ред. Л. Браутмана, Р. Крока. — М.: Мир, 1970. — 672 с.
7. *Справочник по композиционным материалам*: В 2 кн.: Пер. с англ.: / Под ред. Дж. Любина. — М.: Машиностроение, 1988. Кн. 1. 448 с.; Кн. 2. 584 с.
8. *Достижения в области композиционных материалов*: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Пиатти. — М.: Metallurgy, 1982. — 304 с.

Белорус. гос. ун-т,
Минск

Поступила в редакцию
04.05.2006

УКРАЇНСЬКЕ ТОВАРИСТВО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Запрошуємо Вас прийняти участь в 12-й Міжнародній науково-технічній конференції та виставці

«ЛЕОТЕСТ-2007»

«Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів»,

яка відбудеться 19–24 лютого 2007 р. в селищі Славське (Львівська обл.) на базі будинку відпочинку «Бойківщина».

Організатори конференції: Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАНУ, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, НВФ «Ультракон-Сервіс», НВФ «Спеціальні Наукові Розробки» і Центр «ЛЕОТЕСТ-МЕДІУМ» (організаційне бюро конференції).

Тематика конференції:

- ✓ теорія і практика електромагнітних і акустичних методів неруйнівного контролю матеріалів та виробів;
- ✓ діагностичні аспекти застосування електромагнітних та акустичних методів контролю відповідальних конструкцій в експлуатації;
- ✓ електромагнітні та акустичні первинні перетворювачі та методи обробки сигналів, питання метрологічного забезпечення в електромагнітних та акустичних методах контролю;
- ✓ автоматизовані системи та прилади контролю якості виробів;
- ✓ науково-організаційні і економічні проблеми, питання акредитації лабораторій, сертифікації продукції, підготовки та атестації персоналу. За матеріалами конференції буде надрукований збірник наукових праць (входить в перелік ВАК України).

Селище Славське розташоване в горах Карпатах в 130 км від міста Львова. Славське — відомий центр гірськолижного спорту і зимового відпочинку.

Селище Славське — це також залізнична станція на міжнародній трасі Москва-Київ-Львів-Стрий-Сколе-Славське-Лавочне-Мукачеве-Ужгород-Прага (а також Белград або Будапешт). Це дозволяє забезпечити зручний проїзд учасників до місця проведення конференції.

Заявки на участь у конференції направляти за адресою:

79017, Україна, Львів, вул. Генерала Грицяя, 11-5, Центр «ЛЕОТЕСТ-МЕДІУМ», В. Учаніну
або 79000 Україна, Львів, поштамт, а/с 6071, В. Учаніну.

E-mail: uchanin@ipm.lviv.ua або leotest@org.lviv.net

Довідки: Тел/факс. (0322) 75-08-69 (Учанін Валентин Миколайович)

Тел. (032) 22-96-166 (Кириченко Ірина Іванівна)