

УДК 621.317.3

Ю. С. НЕМЧЕНКО, В. В. КНЯЗЕВ, И. П. ЛЕСНОЙ, С. Б. СОМХИЕВ

### УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К МАГНИТНЫМ ПОЛЯМ ЧАСТОТЫ СЕТИ У-МПЧС

Описана конструкция и результаты аттестации установки, предназначенной для испытаний настольных малогабаритных и напольных крупногабаритных электротехнических и электронных изделий, оборудования и аппаратуры (далее в тексте – технические средства – (ТС), которые в процессе эксплуатации могут подвергаться воздействию магнитных полей частоты сети (МПЧС) (длительному или кратковременному). Испытания проводятся по пяти испытательным уровням в длительном режиме и по двум испытательным уровням в кратковременном режиме в соответствии с ДСТУ ІЕС 61000-4-8:2012.

**Ключевые слова:** испытание, магнитные поля частоты сети, технические средства, установка, генератор, аттестация.

**Введение.** Электрические сети различного назначения создают в жилых и промышленных помещениях длительные магнитные поля частоты сети (МПЧС). В соответствии со строительными нормами эти МПЧС сравнительно невелики, однако, ситуация обостряется в помещениях электрических подстанций. Там напряженность МПЧС возрастает в десятки раз, т.к. на территориях подстанций начинаются выходы на линии электропередач высокого напряжения и где рабочие токи значительно превышают токи в жилых и промышленных помещениях. Ситуация резко ухудшается при возникновении аварийных режимов в электросетях, например, при коротких замыканиях на ЛЭП. В этом случае напряженность МПЧС может кратковременно (на несколько секунд) возрастать в десятки и сотни раз до тех пор, пока не сработает система релейной защиты. Размещаемые в этих помещениях современные, насыщенные радиоэлектроникой, технические средства (ТС) взаимодействуют с МПЧС и при недостаточной степени защиты эти ТС могут ненадежно функционировать.

#### Описание установки У-МПЧС.

Для включения этого вида испытаний в сферу аккредитации Испытательной лаборатории НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» разработана и создана испытательная установка У-МПЧС, рис. 1.

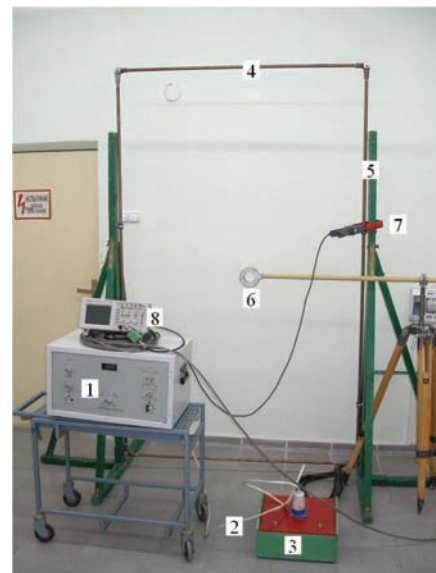


Рисунок 1 – Общий вид установки У-МПЧС:

- 1 – генератор Г-МПЧС-М;
- 2 – соединительная линия;
- 3 – согласующий выходной трансформатор;
- 4 – полеобразующая система ПС-4;
- 5 – изоляционная стойка ИС;
- 6 – измеритель напряженности магнитного поля ИНМП-3-1000;
- 7 – измерительные клещи Fluke І3000;
- 8 – осциллограф Tektronix- DPO 4104

Таблица 1 – Нормы на МПЧС

Контролируемый параметр	Размерность	Испытательный уровень	Номинальное значение	
			Длительный режим	Кратковременный режим
Напряженность магнитного поля	А/м	1	1	–
		2	3	–
		3	10	–
		4	30	300
		5	100	1000
Длительность выходного тока		1	1-10 мин	–
		2		
		3		
		4		
		5		1-3 с

Международная электрическая комиссия, комплектуя пакет внешних испытаний на электромагнитную совместимость (ЭМС), учла фактор МПЧС и включила испытания на стойкость к ним в качестве одного из основных и обязательных видов испытаний на ЭМС. С этой целью было разработано несколько версий соответствующего стандарта ІЕС 61000-4-8, которые с 1995 года действуют и в Украине [1]. Нормы на МПЧС по этим стандартам приведены в табл. 1.

Структурно установка состоит из полеобразующей системы (ПС), на которую замыкается генератор тока промышленной частоты (Г-МПЧС-М) через согласующий выходной трансформатор (СВТ).

Проектирование У-МПЧС начинается с выбора конструкции ПС, так как в соответствии со стандартом ДСТУ 2465-94 [2] удаление проводников ПС от наружных поверхностей ТС должно быть не менее 20 % от длины каждой стороны ПС.

В нашей практике поступали на испытания ТС с объемом от нескольких кубических дециметров до нескольких кубических метров, поэтому было приня-

то решение включить в состав МПЧС несколько типоразмеров ПС, дискретно для каждого типоразмера ТС (всего 4 типоразмера ПС).

Основные параметры установки У-МПЧС приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Основные параметры установки У-МПЧС

Параметр	Размерность	Величина
1. Напряжение сети питания	В Гц	220 50
2. Напряженность магнитного поля в рабочем объеме полеобразующих систем: для ПС-1 для ПС-2 для ПС-3 для ПС-4	А/м А/м А/м А/м	от 1 до 1000 от 1 до 1000 от 1 до 1000 от 1 до 1000
3. Время работы установки в кратковременном режиме	с	от 1 до 3
4. Коэффициент преобразования штатного измерителя напряженности магнитного поля ИНМП-3-1000	мВ/А/м	0,159
5. Мощность, потребляемая от сети, не более	Вт	4000

### Описание генератора Г-МПЧС-М

Генератор Г-МПЧС-М предназначен для закачивания в ПС требуемой для каждого типоразмера ПС величины рабочего тока частотой 50 Гц с необходимой длительностью по табл. 1. Поэтому Г-МПЧС-М представляет собой комплект трансформаторов с большим количеством отводов, включаемых при работе при помощи соответствующего таймера.

Элементы Г-МПЧС-М сконструированы таким образом, что независимо от типоразмера ТС напряженность магнитного поля в центре каждой ПС будет автоматически устанавливаться одинаковой в соответствии с нормами по табл. 1.

Структурная схема генератора Г-МПЧС-М приведена на рис. 2.

Работает генератор следующим образом. На его вход подается переменное напряжение 220 В от ЛАТР. Это напряжение через блок таймера-коммутатора (БТК) поступает на блок регулируемых напряжений (БРН). С этого блока напряжение требуемой величины поступает на блок формирования токов (БФТ), который и выдает необходимые токи на ПС.

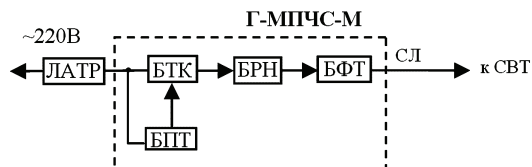


Рисунок 2 – Структурная схема установки У-МПЧС Г-МПЧС-М – испытательный генератор;  
БТК – блок таймера-коммутатора;  
БРН – блок регулируемых напряжений;  
БФТ – блок формирования тока;  
БПТ – блок питания таймера;  
СЛ – соединительная линия,  $\ell = 3$  м;  
СВТ – согласующий выходной трансформатор;  
ЛАТР – автотрансформатор

Генератор Г-МПЧС-М, общий вид которого показан на рис. 3, собран в металлическом корпусе с габаритами 400x600x235 мм.



Рисунок 3 – Общий вид генератора Г-МПЧС-М

Передняя панель Г-МПЧС-М и расположение элементов управления и индикации на ней показаны на рисунке 3. Здесь находятся:

- клавиша включения питания СЕТЬ–ВКЛ и индикаторная лампочка, показывающая подачу на генератор напряжения из сети электропитания;
- регулятор напряжения МЕНЬШЕ–0–БОЛЬШЕ, предназначенный для регулировки величины входного сетевого напряжения, подаваемого в схему генератора с трансформатора Т1 (см. схему на рисунке 8);
- табло «240 В» индикатора подаваемого в схему напряжения;
- переключатель ТИП ПС, предназначен для выбора подключаемой к выходу генератора полеобразующей системы (цифры показывают размеры ПС в метрах): 1x1 (ПС-1), 1,4x1,4 (ПС-2), 2,3x1,8 (ПС-3), 2,8x1,4 (ПС-4);
- переключателем НАПРЯЖ.МАГН.ПОЛЯ, А/м дискретно регулируется величина напряженности испытательного магнитного поля в ПС: от 1 А/м до 100 А/м – для режима длительного воздействия и от 300 А/м до 1000 А/м – для режима кратковременного воздействия;
- два переключателя ТАЙМЕР: один переключатель – МИНУТЫ, предназначен для дискретной установки времени работы генератора в длительном режиме от 1 до 10 мин; второй переключатель – СЕКУНДЫ, предназначен для дискретной установки времени работы генератора в кратковременном режиме от 1 до 3 с;
- кнопка ПУСК предназначена для запуска генератора, при этом загорается индикаторная лампочка над ней;
- кнопка СТОП предназначена для остановки генератора в любой момент.

На задней панели генератора размещены два разъема: СЕТЬ 220 В – для подключения к сети питания и ВЫХОД – для подключения к силовому блоку, с помощью соединительных кабелей, а также клемма «⏚», предназначенная для соединения генератора с контуром заземления.

### Устройство БТК

Блок таймера-коммутатора (БТК) предназначен

для включения и выключения генератора Г-МПЧС в течение заданных фиксированных интервалов времени.

Параметры БТК:

- длительный коммутируемый ток – до 8 А;
- кратковременный коммутируемый ток – до 50 А;
- длительные интервалы коммутации – от 1 мин. до 10 мин. через 1 мин.;
- кратковременные интервалы коммутации – от 1 с до 3 с через 0,5 с.

Конструктивно БТК размещен на двух платах (плата блока таймера и плата блока коммутатора). Органами управления БТК, вынесенными на переднюю панель генератора, помимо упомянутых выше (ТАЙМЕР–МИНУТЫ–СЕКУНДЫ), являются кнопка ПУСК и кнопка СТОП. Индикатором включения и работы БТК является светодиод HL2 на передней панели генератора.

Все элементы и узлы БТК размещены в металлическом корпусе-экране.

#### Устройство БРН

Блок регулируемых напряжений (БРН) состоит из трансформатора Т1. Трансформатор напряжения Т1 имеет 9 отводов для регулировки входного напряжения в небольших пределах относительно номинального напряжения сети. Его ось выведена на переднюю панель: МЕНЬШЕ–0–БОЛЬШЕ. Вторичная обмотка Т1 разбита на 13 частей (по два витка в каждой). Выводы от групп обмоток подсоединены к переключателю SA2 типа 8П4Н2 НАПРЯЖ.МАГН.ПОЛЯ, А/м, имеющему четыре семипозиционных пакета. Каждый пакет формирует испытательный ток для той или иной полеобразующей системы.

#### Устройство СВТ

Согласующий выходной трансформатор (СВТ), рис. 4, предназначен для создания дискретных токов, которые при протекании через полеобразующие системы обеспечивают заданные дискретные напряженности магнитного поля в полеобразующих системах. СВТ подключается к БРН и состоит из семипозиционного мощного переключателя типа 8П4Н2 – НАПРЯЖ.МАГН.ПОЛЯ, А/м и набора гасящих переменных резисторов (всего по 4 резистора для каждого вида ПС). Подключение СВТ к конкретному виду ПС осуществляется болтами М20. Подключение СВТ к Г-МПЧС-М происходит соединительным кабелем длиной 3 м через розетку разъема типа РА-32.



Рисунок 4 – Согласующий выходной трансформатор

#### Устройство ПС

В соответствии с [1] в качестве ПС могут использоваться как одновитковые, так и многовитковые катушки прямоугольной формы. Преимущество многовитковых ПС в том, что для них требуются небольшие рабочие токи, однако сделать эти ПС разъемными (что требуется для испытания ТС больших габаритов, особенно напольных ТС) сложно. Поэтому в нашей лаборатории сделаны ПС одновитковыми и разъемными, что, с одной стороны, резко упрощает размещение ТС внутри ПС, а, с другой стороны, требует рабочих токов величиной от 1 кА до 2,5 кА. Именно с этой целью и применяется трансформатор тока СВТ.

ПС – это набор из четырех индукционных катушек ПС-1, ПС-2, ПС-3 и ПС-4, предназначенных для создания в их объеме магнитного поля с напряженностями в геометрическом центре от 1 А/м до 1000 А/м. Все четыре варианта ПС имеют в плане прямоугольную форму и следующие геометрические параметры:

- ПС-1 1 м x 1 м;
- ПС-2 1,4 м x 1,4 м;
- ПС-3 2,3 м x 1,0 м;
- ПС-4 2,8 м x 1,4 м.

ПС-1, ПС-2 и ПС-3 выполнены из медной трубки с внешним диаметром 18 мм и внутренним диаметром 10 мм; ПС-4 выполнен из медного прутка диаметром 22 мм. Каждая ПС имеет один виток, выполненный разъемным в виде секций для удобства при испытаниях крупногабаритных ТС. Для подсоединения к Г-МПЧС-М на ПС имеются выводы, на концах которых установлены мощные клеммы.

Для установки ПС на испытательной площадке служат изоляционные стойки ИС (2 шт.), позволяющие ориентировать ПС в трех взаимно перпендикулярных направлениях и обеспечивать достаточную жесткость и устойчивость конструкции в целом.

#### Устройство СЛ

Соединительная линия (СЛ) представляет собой скрученный провод, длиной  $l = 3$  м, требуемой из условия предотвращения влияния магнитного поля Г-МПЧС-М на ПС и обратного влияния поля, создаваемого в катушке, на Г-МПЧС-М.

#### Устройство СИВП

Для контроля выходных параметров установки У-МПЧС (формы, величины и длительности напряженности магнитного поля в ПС) в состав установки входит штатная система измерения выходных параметров (СИВП).

СИВП состоит из измерителя напряженности магнитного поля ИНМП-3-1000 [3] и токоизмерительных клещей Fluke i3000s [4], которые подключаются к осциллографу Tektronix DPO 4104 [5].

Измеритель напряженности магнитного поля ИНМП-3-1000 – это нестандартизованное средство измерения, разработанное нами для измерений напряженности магнитного поля частоты сети, описан в руководстве по эксплуатации ИНМП-3.000.000.000 РЭ, сначала аттестованное в ГП «Харьковстандартметрология», а потом откалибровано в ННЦ «Инсти-



тут метрології». Общий вид измерителя напряженности магнитного поля ИНМП-3-1000 приведен на рис. 5.

Подключение ИНМП-3-1000 к осциллографу осуществляется при помощи кабельной линии передачи информации (КЛПИ) длиной  $\ell=10$  м и интегратора (И). Для подключения к ИНМП-3-1000 на входном конце КЛПИ имеется разъем СР-75-54ФВ, со стороны осциллографа – разъем СР-50-74П.



Рисунок 5 – Общий вид измерителя напряженности магнитного поля ИНМП-3-1000

Токоизмерительные клещи Fluke i3000s – стандартный измерительный прибор, предназначенный для бесконтактного измерения тока в различного рода проводниках и имеющий амплитудный диапазон от 1 А до 3000 А частотой до 100 кГц.

**Результаты аттестации генератора.** Типовые осциллограммы напряжения с выхода измерителя напряженности магнитного поля ИНМП-3-1000 в длительном режиме (а) и кратковременном режиме работы (б) установки У-МПЧС приведены на рис. 6.

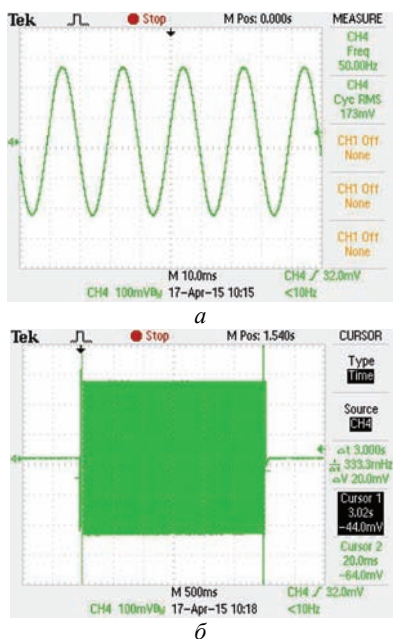


Рисунок 6 – Типовые осциллограммы напряжения с выхода измерителя напряженности магнитного поля ИНМП-3-1000 в длительном режиме (а) и кратковременном режиме работы установки У-МПЧС

### Методика проведения испытаний

Методика проведения испытаний состоит из трех циклов:

Первый цикл – подготовка рабочего места.

Второй цикл – подготовка испытательного и измерительного оборудования.

Третий цикл – проведение испытаний.

Первый цикл состоит из 3 этапов:

1 этап – на основании Программы испытаний устанавливается вид рабочего места для проведения испытаний, которое зависит от вида ТС (напольного или настольного расположения – рис. 7 и 8);

2 этап – выбор ПС в зависимости от габаритов ТС по нормам, приведенным выше;

3 этап – установление норм испытаний, исходя из Программы испытаний.

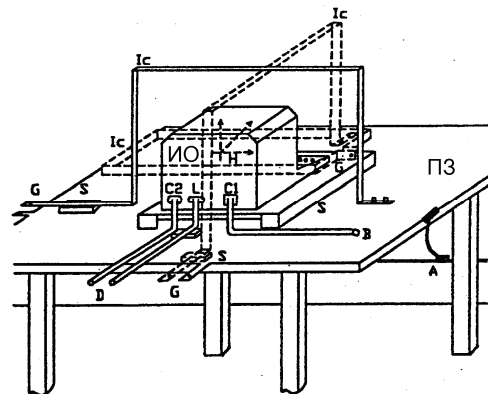


Рисунок 7 – Расположение испытательного оборудования при испытании настольных малогабаритных изделий ИО – испытываемое оборудование; ПЗ – плоскость заземления

Второй цикл – собрать рабочее место по рис. 7 или 8. Установить ПС на изоляционную стойку, а в центре ПС разместить штатный измеритель напряженности магнитного поля ИНМП-3-1000 на штатной изоляционной планке таким образом, чтобы плоскости ПС и измерительного преобразователя измерителя ИНМП-3-1000 совпадали, а кабель от него подстыковать к каналу I осциллографа.

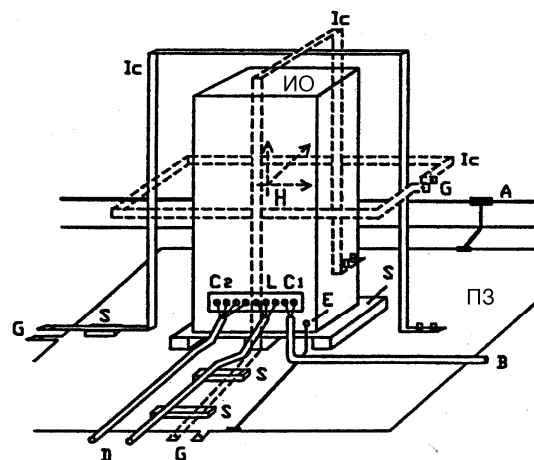


Рисунок 8 – Расположение испытательного оборудования при испытании напольных крупногабаритных изделий ИО – испытываемое оборудование; ПЗ – плоскость заземления

Охватить ПС в любом месте измерительными клещами и измерительный кабель от них подстыковать к каналу II осциллографа. На генераторе Г-МПЧС-М установить испытательный уровень. Включить генератор и нажать кнопку ПУСК. При этом на осциллографе (при правильно установленных чувствительностях каналов) должны появиться две осциллограммы: по каналу I – напряженность магнитного поля, а по каналу II – осциллограмма тока в ПС.

Рассчитать напряженность магнитного поля  $H_0$  (в амперах на метр – А/м) в центре ПС по формуле:

$$H_0 = \frac{U_{\text{ЭО}}^I}{K_n^{\text{ИНМП}}}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{ЭО}}^I$  – напряжение на канале I осциллографа, В;  $K_n^{\text{ИНМП}}$  – коэффициент преобразования измерителя ИНМП, В/А/м, берется из свидетельства о калибровке на него.

Рассчитать величину тока в ПС  $I_{\text{ПС}}$  (в амперах) по формуле

$$I_{\text{ПС}} = \frac{U_{\text{ЭО}}^{\text{II}}}{K_n^{\text{ТК}}}, \quad (2)$$

где  $U_{\text{ЭО}}^{\text{II}}$  – напряжение на канале II осциллографа, В;  $K_n^{\text{ТК}}$  – коэффициент преобразования токоизмерительных клещей, В/А, берется из свидетельства об их калибровке.

При помощи регулятора МЕНЬШЕ–0–БОЛЬШЕ установить требуемое по программе испытаний значение напряженности магнитного поля. Если при помощи этого регулятора не удастся установить требуемую напряженность магнитного поля, то использовать для этой цели ЛАТР. Выключить генератор.

Вынести из рабочего объема ПС измеритель ИНМП-3-1000 вместе с изоляционной планкой, одновременно отстыковав его кабель от ЭО.

Третий цикл – установить испытываемое изделие в рабочий объем ПС. Включить генератор снова. Проверить работоспособность ТС во всех режимах его работы, предусмотренных нормативной документаци-

ей на него.

Нажать кнопку ПУСК на генераторе, тем самым нагружая испытываемое изделие заданным магнитным полем, и при этом одновременно контролируя величину выходного тока установки. Повторить испытания в трех взаимно перпендикулярных плоскостях.

В процессе проведения испытаний проверять работоспособность ТС штатным проверочным комплексом (если он предусмотрен), или это сделать после окончания испытаний.

**Выводы:** Генератор У-МПЧС успешно прошел первичную аттестацию с участием представителей ГП «Харьковстандартметрология» по разработанной в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» соответствующей Программе и методике аттестации. Установка У-МПЧС введена в эксплуатацию в ИЛ НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» при проведении испытаний ТС на устойчивость к МПЧС.

**Список литературы:** 1. ДСТУ ІЕС 61000-4-8:2012 Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до магнітних полів частоти мережі. Технічні вимоги і методи випробувань. 2. ДСТУ 2465-94 Стійкість до магнітних полів частоти мережі. Технічні вимоги і методи випробувань. 3. Вимірювач напруженості магнітного поля ИНМП-3-1000. Настанова з експлуатації. 4. Струмовимірювальні кліщі Fluke і3000s. Настанова з експлуатації. 5. Цифровий чотирьохканальний запам'ятовуючий осцилограф Tektronix DPO 4104. Настанова з експлуатації.

**Bibliography (transliterated):** 1. DSTU IES 61000-4-8:2012 Sumisnist' tehnicnih zasobiv elektromagnitna. Stijkist' do magnitnih poliv chastoti merezhi. Tehnicni vimogi i metodi viprobuvan'. 2. DSTU 2465-94 Stijkist' do magnitnih poliv chastoti merezhi. Tehnicni vimogi i metodi viprobuvan'. 3. Vimirjuvach napruzenosti magnitnogo polja INMP-3-1000. Nastanova z ekspluatatsii. 4. Strumovimirjuval'ni klishhi Fluke i3000s. Nastanova z ekspluatatsii. 5. Cifrovij chotir'ohkanal'nij zapam'jatovujuchij oscilograf Tektronih DPO 4104. Nastanova z ekspluatatsii.

Поступила (received) 22.03.2016

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Немченко Юрій Семенович** – Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» НТУ «ХПИ», главный метролог, тел.: (057) 707-68-68.

**Netchenko Jurij Semenovich** – Research and Design Institute "Molniya" NTU "KhPI", Main metrologist, tel.: (057) 707-68-68.

**Князев Владимир Владимирович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "Молния" НТУ «ХПИ», ведущий научный сотрудник, тел.: (057) 707-68-68; e-mail: knyaz2@i.ua.

**Knyaziev Volodymyr Volodymyrovych** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), senior staff scientist, Research and Design Institute "Molniya" NTU "KhPI", principal scientist, tel.: (057) 707-68-68; e-mail: knyaz2@i.ua.

**Лесной Иван Петрович** – Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "Молния" НТУ «ХПИ», заведующий лабораторией, тел.: (057) 707-68-68.

**Lesnoj Ivan Petrovich** – Research and Design Institute "Molniya" NTU "KhPI", manager by a laboratory, tel.: (057) 707-68-68.

**Сомхив Сергей Борисович** – Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "Молния" НТУ «ХПИ», ведущий инженер, тел.: (057) 707-68-68.

**Somhiev Sergej Borisovich** – Research and Design Institute "Molniya" NTU "KhPI", leading engineer, tel.: (057) 707-68-68.