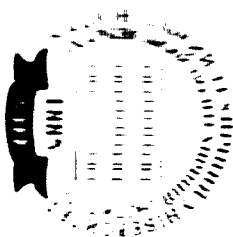


**У Всеукраїнська  
науково-технічна конференція  
ПРО АКТИВНІ АСПЕКТИ СУМІСНОСТІ ЕЛЕКТРО-  
РОЗМІПНОЇ ТА РАДІОТЕХНІЧНОЇ ЗАХИСТУ  
«ІНСТЕР-2019»**



**ПРОГРАМА  
РОБОТИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ:**

Міністерство оборони і науки України  
Національний технічний університет „ХПІ”  
Ремієвський комітет України №22 стандартизації «Електро-  
мобільна сумісність та стійкість радіоелектронних, елект-  
ронних та електротехнічних засобів»

Спонсор конференції:  
ТОВ «ТЕРРА-АВТ»

**16 – 18 жовтня 2019 року, Харків, Україна**

## ГЕНЕРАТОРЫ ТОКА ИСКУССТВЕННОЙ МОЛНИИ НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

*Баранов М.И.<sup>1</sup>, Буряковский С.Г.<sup>1</sup>, Колтушко Г.М.<sup>1</sup>, Рудков С.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт  
«Молния» Национального технического университета  
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*  
<sup>2</sup> *Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков*

Приведены результаты разработок в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» и практического применения мощных высоковольтных генераторов тока молнии (ГТМ), предназначенных для натурных испытаний объектов энергетики, авиационной и ракетно-космической техники на молниестойкость. Показано, что в 2007 г. в данном институте на его экспериментальном полигоне (с. Андреевка, Харьковской обл.) был создан уникальный мощный высоковольтный ГТМ типа УИТОМ-1 энергоемкостью до 1,21 МДж (рис. 1), способный в полевых условиях на открытом воздухе проводить испытания объектов авиационной и ракетно-космической техники на молниестойкость в соответствии с требованиями руководящих документов США SAE ARP 5412: 2010 и SAE ARP 5416: 2010.

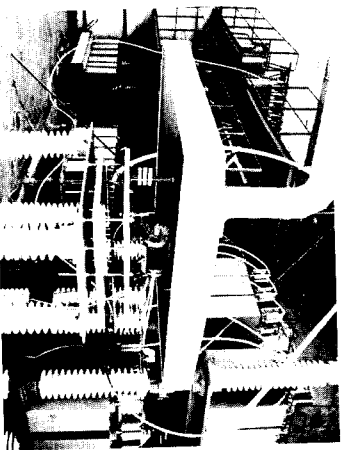


Рис. 1. Общий вид ГТМ типа УИТОМ-1

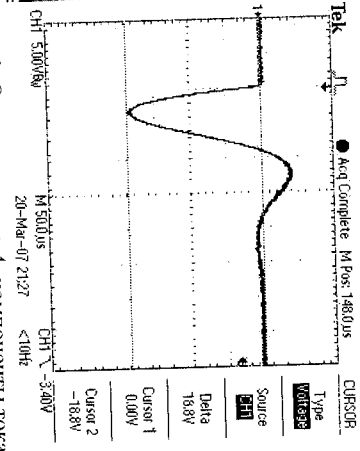


Рис. 2. Осциллограмма д- компонента тока

Из приведенной на рис. 2 осциллограммы импульсной д- компоненты тока искусственной молнии с нормированными амплитудно-временными параметрами (АВП) в сильноточной разрядной цепи высоковольтного генератора ГИТ-4 мощного ГТМ типа УИТОМ-1, содержащего в своем составе пять параллельно и синхронно работающих генераторов ГИТ-4 (для имитации импульсной д- компоненты тока), ГИТ-В (для имитации промежуточной В-компоненты тока), ГИТ-Д (для имитации повторной импульсной Д-компоненты

тока) и ГИТ-С (для имитации длительной составляющей тока), следует, что для имитации нормированной амплитуды  $S_{\text{норм}}$  компонента тока, следует, что для имитации амплитуды  $I_{\text{норм}}$  д- компонента тока необходимо использовать генератор ГИТ-4 с нормированной амплитудой д- компонента тока  $I_{\text{д-ком}}$  и длительностью фронта  $T_{\text{д-ком}}$  (объекте испытаний тока молнии на электрической нагрузке (объекте испытаний)  $R_{\text{объект}}$  и индуктивностью  $L_{\text{объект}}$   $\approx 2,09 \cdot 10^6$  Дж/Ом,  $I_{\text{д-ком}} = 100$  кА (при длительности фронта  $T_{\text{д-ком}} = 32$  мкс и полной длительности протекания тока  $T_{\text{д-ком}} = 100$  мкс). На рис. 3 и 4 приведены результаты прямого воздействия д- компонента тока искусственной молнии с нормированными по требованиям SAE ARP 5412: 2010 и SAE ARP 5416: 2010 параметрами модели испытательной авиационной приемопередаточной антенны. Из экспериментальных данных рис. 3 и 4 следует, что антенна успешно выдерживает испытания по молниезащите опытная передаточная антенна без учета требований по молниезащите опытная антенна приемопередаточной антенны авиационной техники натурных испытаний согласно нормативным документам США SAE ARP 5416: 2010 и SAE ARP 5412: 2010 не выдержала. Прямым ударом мощного плазменного фронта с большим импульсным током искусственной молнии она была повреждена и разрушена и выведена из строя.

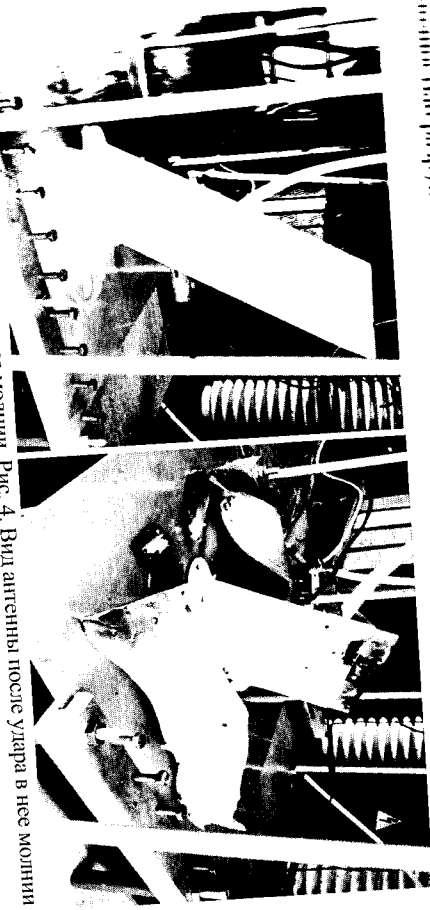


Рис. 3. Вид антенны до удара в нее молнии

Рис. 4. Вид антенны после удара в нее молнии

Показано, что в 2014 г. на указанном экспериментальном полигоне НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» был введен в эксплуатацию другой уникальный высоковольтный ГТМ типа ГТМ-10/350 с энергоемкостью до 1,17 МДж (рис. 5), предназначенный для прямого воздействия нормированного по международному стандарту ИЕС 62305-1: 2010 аперодического импульса тока короткого удара искусственной молнии временной формы  $T_1/T_2 = 10/350$  мкс ( $T_1, T_2$  – соответственно длительность фронта и длительность полуспада импульса тока молнии) с соответствующими допусками на его АВП на назем-

ные объекты энергетики (ОЭ). Согласно требованиям указанного международного стандарта АВП такого импульса тока молнии для I уровня молниезащиты ОЭ характеризуются следующими численными значениями: амплитуда тока  $I_{mi} \approx 200$  кА (при допуске  $\pm 10\%$ ); интеграл действия (удельной энергии)  $J_L = 10 \cdot 10^6$  Дж/Ом (при допуске  $\pm 35\%$ ); количеством протекающего электрического заряда  $q_L = 100$  Кл (при допуске  $\pm 20\%$ ). Для II уровня молниезащиты ОЭ рассматриваемые АВП тока молнии имеют нижеуказанные количественные значения: амплитуду тока  $I_{mi} = 150$  кА (при допуске  $\pm 10\%$ ); интеграл действия тока (удельную энергию)  $J_L = 5,6 \cdot 10^6$  Дж/Ом (при допуске  $\pm 35\%$ ); количество протекающего электрического заряда  $q_L = 75$  Кл (при допуске  $\pm 20\%$ ). Для наиболее низких III–IV уровней молниезащиты ОЭ указанные АВП токов провозного разряда должны соответствовать следующим техническим требованиям: амплитуде тока  $I_{mi} = 100$  кА (при допуске  $\pm 10\%$ ); интегралу действия тока (удельной энергии)  $J_L = 2,5 \cdot 10^6$  Дж/Ом (при допуске  $\pm 35\%$ ); количеству протекающего через испытываемый технический объект электрического заряда  $q_L = 50$  Кл (при допуске  $\pm 20\%$ ).

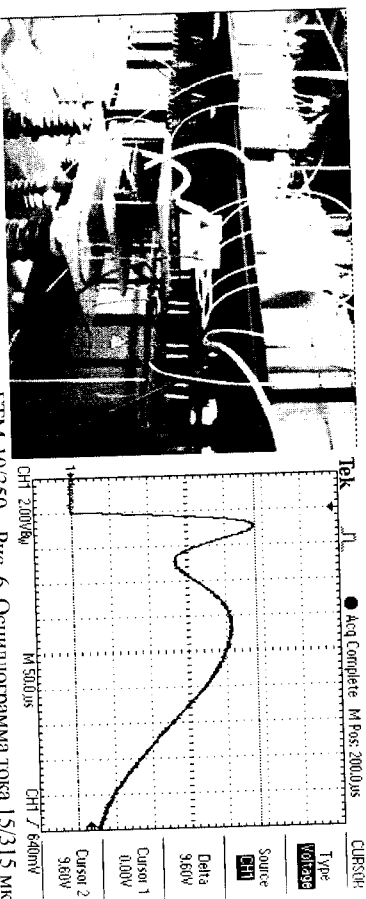


Рис. 5. Внешний вид генератора типа ГТМ-10/350

В соответствии с данными рис. 6 амплитуда апернодического импульса тока искусственной молнии временной формы 15/315 мкс, полученного в разрядной цепи генератора ГТМ-10/350, составляет  $I_{mi} \approx 100$  кА (в этом случае интеграл действия тока был равен  $J_L \approx 3,2 \cdot 10^6$  Дж/Ом, а протекающий электрический заряд через испытываемый сетевой провод марки АППВнг-2х6 длиной 0,5 м с алюминиевой жилой сечением  $6 \text{ мм}^2$  и ПВХ изоляцией составлял  $q_L \approx 44,2$  Кл). На рис. 7 и 8 приведены общие виды провода марки АППВнг-2х6 до протекания через него указанного тока короткого удара молнии и после подбора удара.

Опытные данные рис. 8 наглядно демонстрируют явление электрического взрыва (ЭВ) алюминиевой жилы сечением  $6 \text{ мм}^2$  сетевого провода марки АППВнг-2х6, по которому протекает апернодический импульс тока искусст-

венного провозного разряда 15/315 мкс положительной полярности с амплитудой напряжения 100 кВ ( $I_{mi} = 100$  кА;  $J_L = 2,32 \cdot 10^6$  Дж/Ом;  $q_L = 50$  Кл). Кроме того, приведенные АВП тока короткого удара искусственной молнии соответствуют требованиям III–IV уровней молниезащиты ОЭ. Из вышесказанного можно сделать вывод, что сетевой провод марки АППВнг-2х6 с алюминиевой жилой сечением  $6 \text{ мм}^2$  и ПВХ изоляцией не удовлетворяет действующим требованиям даже для наиболее низких III–IV уровней молниезащиты (ОЭ). В этой связи электрические сети наземных электроэнергетических объектов с рассматриваемой кабельно-проводниковой структурой должны соответствующим образом ограничиваться перенапряжениями.

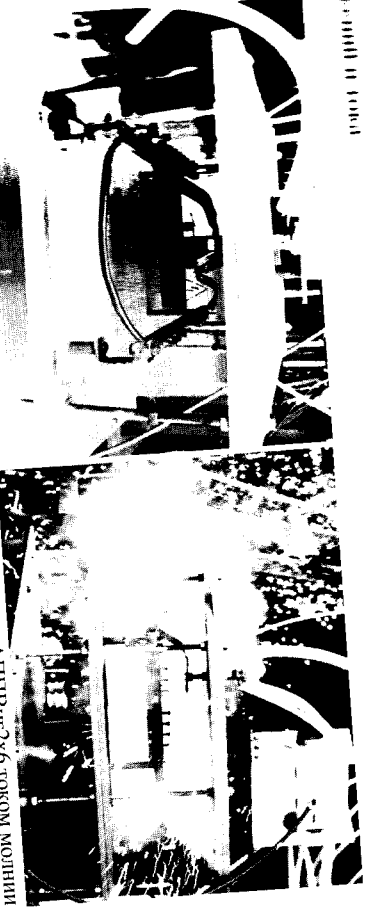


Рис. 7. Провод АППВнг-2х6 до удара тока

Рис. 8. ЭВ провода АППВнг-2х6 током молнии

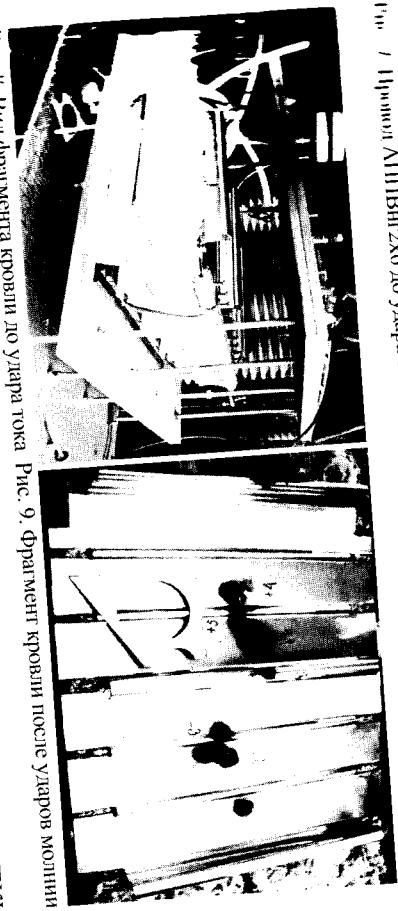


Рис. 9. Фрагмент кровли после ударов молнии

Отмечено, что в 2016 г. на экспериментальном полигоне НИПКИ «Молния» ИТУ «ХПИ» с помощью уникального генератора тока молнии типа ИМ 10/350 для компании VINCI Construction Grand Projets i Vousques Tavaux Travaux (Франция) были успешно выполнены сертификационные испытания на

Молниестойкость тонкостенной стальной кровли (толщиной ~0,6 мм) с тонким стеновым утеплителем (толщиной ~250 мм) Нового Безопасного Конфайнмента 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС. На рис. 8 и 9 приведены обшле или фрагмента испытываемой на молниестойкость на мощном высоковольтном генераторе тока искусственной молнии типа ГТМ-10/350 данной кровли и до, так и после прямого воздействия на нее импульсов тока искусственной молнии с нормированными согласно требований международного стандарта ИЕС 62305-1: 2010 АВП. Полученные в ходе проведенных на генераторе ток искусственной молнии типа ГТМ-10/350 натурных сильноточных испытаниях экспериментальные данные подтвердили молниестойкость указанной кровли утеплителем Нового Безопасного Конфайнмента 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС.

Приведены технические характеристики измерительных средств (в частности, сильноточных коаксиальных шунтов и цифровых запоминающих осциллографов), используемых при определении АВП импульсов тока искусственной молнии, генерируемых в разрядных цепях ГТМ типа УИТОМ-1 (рис. 10 и 11).

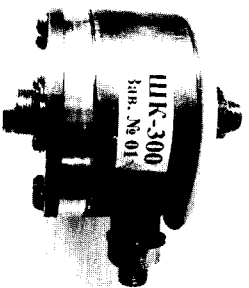
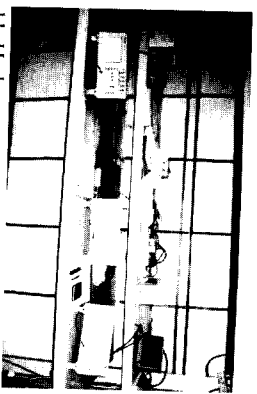


Рис. 10. Измерительный шунт ШКС-300М1 Рис. 11. Цифровые осциллографы Tektronix TDS



## ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНУВШЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМЫ В ВОЗДУХЕ

Виршике М.И.

*Материал подготовлен в рамках проекта «Коллекторский институт  
«Молния» Национального технического университета  
«Уральский политехнический институт», г. Хурьков»*

Проведены расчеты параметров микрометрического расчета максимальных значений скорости  $V_m$  движения  $V_m$  и скорости  $V_m$  распространения ударной волны в разрядной цепи плазмы, округленной при воздушном электрическом разряде в 100 микронной микрометрической проволоочки под электротермическим действием протекающего по ней толкнутого импульсного тока (БИТ). Показано, что при 40 микросекундном импульсе тонкой медной проволоочки, включенной в разрядную цепь высоковольтного генератора БИТ микросекундного временного диапазона микрометрические расчетные значения температуры  $T_m$ , давления  $P_m$  и скорости  $V_m$  плазменных потоков в этой проволоочке могут достигать нескольких десятков тысяч градусов Цельсия соответственно в несколько десятков микрометровых технических масштабах диаметра и тысяч метров в секунду. Сформулированы технические условия для получения при ЭВ в атмосферном воздухе тонкой микрометрической проволоочки «рекордных» (наибольших) значений температуры  $T_m$ , скорости  $V_m$  и скорости  $V_m$  ударной волны в локальной зоне ее взрыва под воздействием БИТ. Данные условия касаются как геометрических параметров микрометрической проволоочки, так и электрических параметров разрядной цепи высоковольтного генератора БИТ. Полученные при определенных допущениях микрометрические результаты для некоторых величин температуры  $T_m$ , давления  $P_m$  и скорости  $V_m$  хорошо коррелируют с известными экспериментальными данными из области ЭВ тонких микрометрических проволоочек под воздействием БИТ ионно-микросекундной длительности. Приведенные результаты будут использованы для определения возможности расширения возможностей электрометрологического применения явления ЭВ в атмосферном воздухе тонких микрометрических проволоочек под действием импульсного тока большой плотности.

Получены новые формулы для приближенного расчета максимальных значений температуры  $T_m$ , давления  $P_m$  и скорости  $V_m$  распространения ударной волны в «металлической проволоочке», возникающей при ЭВ в атмосферном воздухе тонкой микрометрической проволоочки под воздействием протекающего по ней БИТ. Показано, что для случая воздушного ЭВ круглой медной проволоочки радиусом  $r_0 \approx 0,1$  мм и длиной  $l_0 \approx 110$  мм в разрядной цепи высоковольтного генератора с мощной конденсаторной батареей ( $W \approx 147$  кДж), формирующего на активно-индуктивной нагрузке затухающий sinusoidalный БИТ микросекундной длительности ( $I_m \approx 190$  кА;  $\omega \approx 26,18 \cdot 10^3$  с<sup>-1</sup>;  $\delta \approx 16,76 \cdot 10^3$  с<sup>-1</sup>), численные значения  $T_m$ ,  $P_m$  и  $V_m$  могут достигать численных значений, равных соответственно  $92,67 \cdot 10^3$  К,  $343,7 \cdot 10^5$  Па и  $4020$  м/с.