

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

А.Ю. Борисенко,
В.Н. Лебедев,
В.Г. Сенчишин

Харьковский госуниверситет,
пл. Свободы 4, 310077 г. Харьков, Украина

Проведено исследование на долговременную стабильность и термостойкость нового типа пластмассового сцинтиллятора (ПС) UPS-97GC и традиционно-используемого в экспериментах физики высоких энергий сцинтиллятора SCSN-81. Было рассмотрено изменение светового выхода (I) и длины ослабления (L) после 500 часов тепловой обработки при 55 и 75 °C и их ста-

бильность при нормальных условиях эксплуатации. Максимальное изменение светового выхода UPS-97GC при 75 °C за 500 часов испытания составило менее 25%, а длины ослабления около 40%. Снижение величины светового выхода UPS-97GC на 50% произойдет через 11.5 лет, а такое же изменение длины ослабления примерно через 6.8 лет.

Пластмассовые сцинтилляторы на основе полистирола нашли широкое применение в качестве детекторов элементарных частиц в экспериментах физики высоких энергий. Эксперименты, проводимые на пучках ускорителей высокой интенсивности [1,2], используют детекторы, имеющие высокое энергетическое и временное разрешение. Для создания высокоэффективных детекторов требуются новые типы сцинтилляторов. С этой целью был разработан и изготовлен новый сцинтиллятор на основе полистирола UPS-97GC полимеризацией в форме из силикатного стекла. Использовались сцинтилляционные добавки РТР(1.5%) и РОРОР (0.02%). Срок эксплуатации детектора составляет от 1 до 5 лет [1,2]. В течение этого времени его сцинтилляционные свойства должны быть постоянными или изменяться слабо. Ухудшение характеристик детектора происходит в результате старения материала и ухудшения качества поверхности детектора. Со временем может происходить пожелтение сцинтиллятора, в объеме появляются микротрещины, на поверхности образуются сетчатые скопления длинных микротрещин. Для выявления и изучения возможных повреждений образцы сцинтиллятора подвергались воздействию высокой температуры. Вместе с образцами сцинтилляторов UPS-97GC испытывались образцы сцинтиллятора SCSN-81, выпускаемого фирмой Kuraray [3].

Для испытания свойств разработанных сцинтилляторов были изготовлены образцы размером 200×20×5 мм. Образцы сцинтиллятора SCSN-81 имели размер 170×15×3 мм. Перед и в течение испытаний измерялись сцинтилляционные характеристики образцов: световой выход и длина затухания. Образец сцинтиллятора приводился в оптический контакт с колбой ФЭУ (на вазелиновом масле). Вдоль образца перемещался источник β -электронов Sr^{90} . Кривая затухания света в материале сцинтиллятора получалась при измерении зависимости анодного тока от расстояния источника до колбы ФЭУ. Экспериментальные точки аппроксимировались зависимостью: $I=I_0 \exp(-x/L)$. Получалось значение светового выхода I_0 (в мкА) и длина затухания L (в см). Сцинтилляционные характеристики образцов до испытания имели следующие значения длина затухания UPS-97GC $L_0=45$ см, SCSN-81 $L_0=35$ см; световой выход UPS-97GC $I_0=6$ мкА, SCSN-81 $I_0=4$ мкА.

Тепловое старение образцов при температурах 55 и 75 °С проводили в воздушных термостабах в течение 500 часов. Через определенные интервалы времени- 25, 100, 200, 300, 400 и 500 часов- после начала испытания образцы вынимали из шкафов и сравнивали с эталонными образцами. Для оценки ухудшения качества поверхности и изменения прозрачности проводили визуальный осмотр образцов и исследовали в проходящем свете под микроскопом МИМ-7 при увеличении в 50 раз.

Температурное воздействие при 55 и 75 °С в течение 500 часов проявляется в уменьшении светового выхода и длины затухания, которое оказывается весьма значительным в начале испытания, а затем постепенно выходит на насыщение Рис. 1,2.

Изменение светового выхода и длины ослабления для SCSN-81 за 500 часов выдержки при 55 °С не превышает 10- 12% а при 75 °С составляет всего 15%. Длительное (более 500 часов) тепловое старение не сопровождается существенными изменениями сцинтилляционных параметров UPS-97GC. Изменения светового выхода после отжига образцов при 55 °С составляют примерно 17%, а при 75 °С — менее 25%. Уменьшение же длины ослабления UPS-97GC в конце испытания при 55 °С составляет 25%, а при 75 °С — примерно 40%.

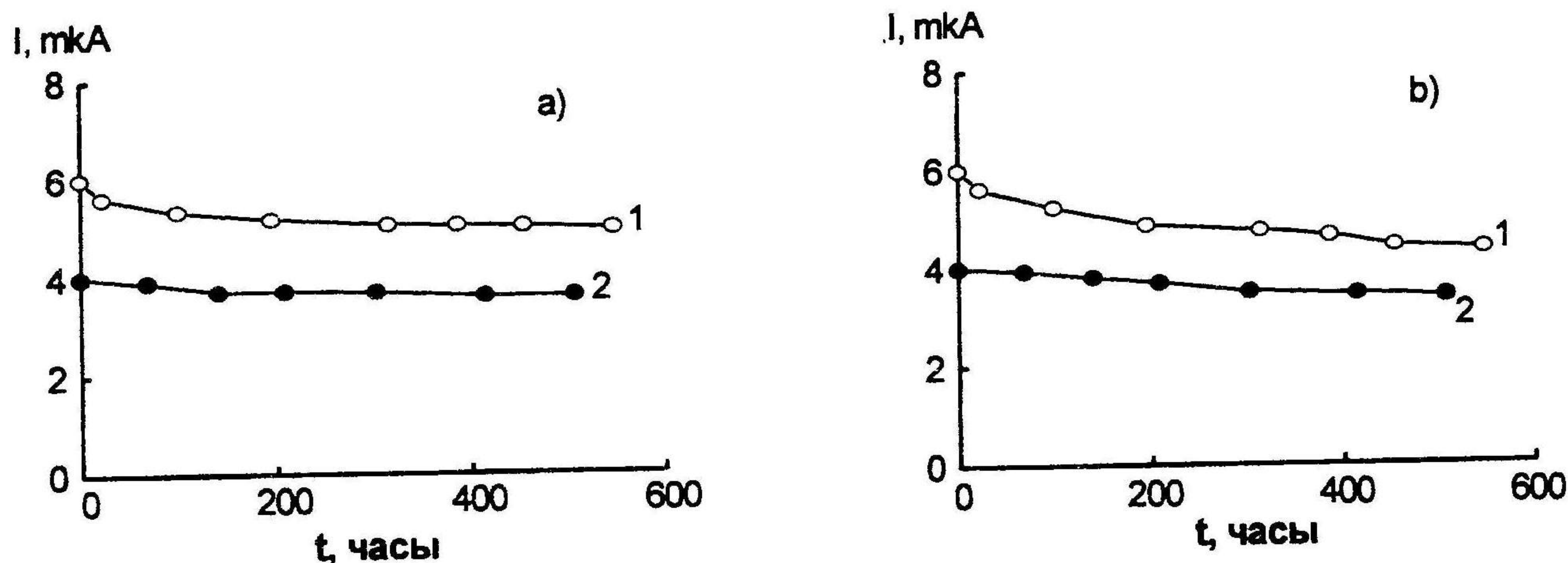


Рис.1. Наблюдаемый световой выход I сцинтилляторов UPS-97GC (1) и SCSN-81 (2) в зависимости от времени нагревания при температуре а) 55 °С, б) 75 °С.

Обработка экспериментальных результатов с применением принципа температурно-временной суперпозиции позволило расчетным путем определить время изменения значений характеристик ПС на 50 % при нормальных условиях эксплуатации t_{20} [4], согласно следующему уравнению:

$$\ln \tau_{20} = \frac{T_1(T_2 - T_{20})}{T_{20}(T_2 - T_1)} \ln \frac{\tau_1}{\tau_2} + \ln \tau_2$$

где $t_{20}, t_1, t_2, T_{20}, T_1, T_2$ - продолжительность и температура эксплуатации и искусственных испытаний, соответственно. При этом было принято, что долговременная стабильность ПС оценивается временем t_{20} , в течение которого изменение светового выхода (или длины ослабления) при температуре 20 °С не превышало бы 50%. Результаты расчета представлены в табл. 1.

Табл. 1. Долговременная стабильность светового выхода t_1 и длины ослабления t_L для UPS-97GC и SCSN-81.

Сцинтиллятор	t_1 , годы	t_L , годы
UPS-97GC	11.5	6.8
SCSN-81	16.6	8.4

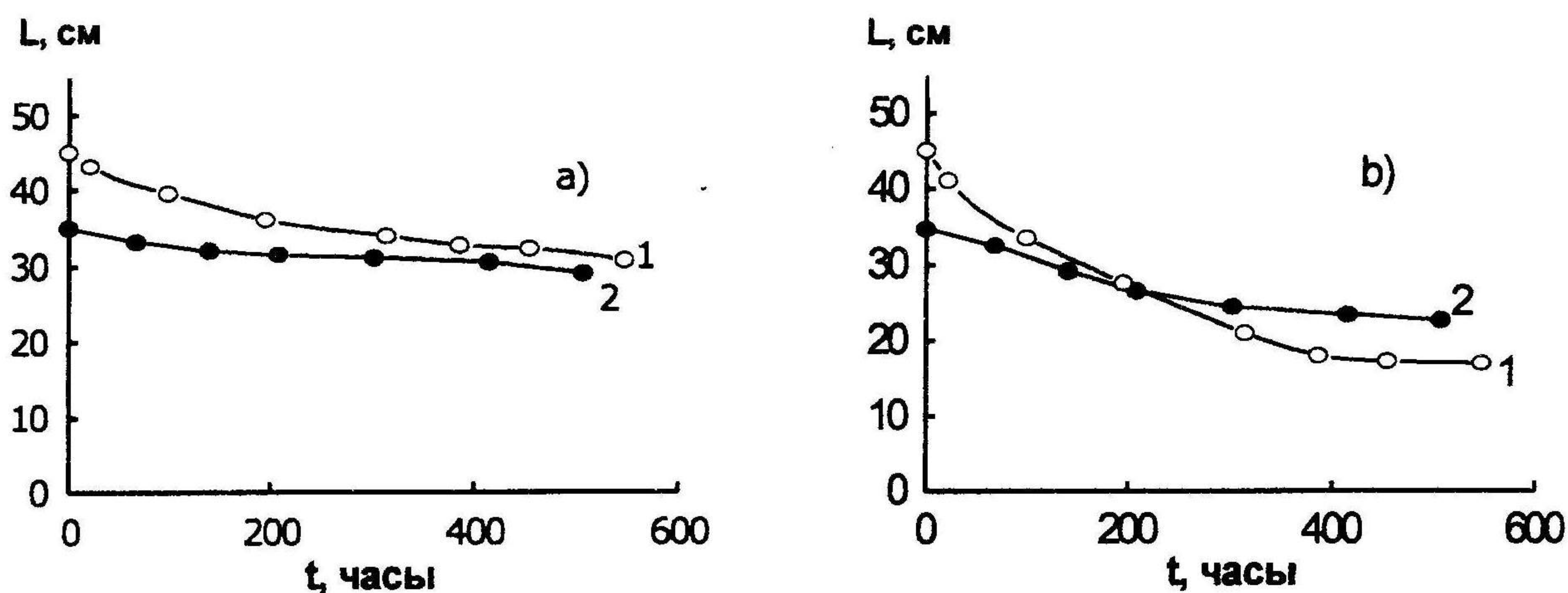


Рис. 2. Длина ослабления L для сцинтилляторов UPS-97GC(1) и SCSN-81 (2) в зависимости от времени нагревания при температуре а) 55 °С, б) 75 °С.

Мы определили, что снижение светового выхода на 50% при температуре 20 °С на воздухе для сцинтиллятора UPS-97GC произойдет почти через 11.5 лет, а такое же изменение длины ослабления примерно через 6.8 лет. Что касается образцов SCSN-81, то изменения светового выхода на 50% произойдет примерно через 16.6 лет, а длины ослабления через 8.4 лет.

Полученные результаты обнаруживают повышение чувствительности к тепловому воздействию параметров сцинтилляторов при переходе от температуры 55 °С к температуре 75 °С. Вероятным объяснением этого может быть усиление диффузии кислорода в пластик наблюдающееся обычно при повышении температуры [5].

Изменения свойств полимерных материалов при длительном тепловом воздействии происходит в результате реакций окисления, протекающих с участием макрорадикалов, образующихся вследствие термодеструкции полимерного вещества. Протекание подобных реакций в полистироле [6] обуславливает появление двойных связей в макромолекуле полимера, а также появление концевых радикалов, способных привести к деполимеризации полистирола с выделением его мономера и, наконец, образование различных кислородосодержащих групп (CO , CO_2 , COOH , OH и др.). Такие эффекты термоокислительной деструкции существенно снижают термостойкость полимера и вызывают окрашивание его образцов в желтый цвет.

Наблюдения под микроскопом показывают, что образующиеся трещины серебра расположены по объему и на поверхности пластин крайне неоднородно: видны широкие зоны с многочисленными расходящимися короткими и узкими крейзами, но при этом наблюдаются и единичные крейзы. Центром широких крейзовых зон на поверхности, по-видимому, являются различного рода дефекты (выбоины, сколы у краев пластин, микронадрезы, загрязнения и т.д.), а в объеме - микропоры, низкомолекулярные включения и проч. При этом внутренние трещины серебра - это единичные и множественные крейзы; и те и другие возникают, как правило, одновременно, а все поверхностные крейзы связаны друг с другом.

Таким образом, анализ полученных экспериментальных данных показывает, что новый полистирольный сцинтиллятор UPS-97GC обладает более высоким световым выходом и более высокой длиной ослабления, чем сцинтиллятор SCSN-81, что в сочетании с достаточной стабильностью характеристик UPS-97GC в нормальных условиях эксплуатации делает его конкурентноспособным среди известных сцинтилляторов.

• **А.Ю. Борисенко и др.**

Долговременная стабильность полистирольных сцинтилляторов

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Inagaki T., Takashima R.* New types of plastic scintillators // Nucl. Instr. and Meth. 1982. **201**. P. 511-517.
- [2] *Balka L., Coover K., Diebold R. et. al.* The CDF central electromagnetic calorimeter // Nucl. Instr. and Meth. 1988. **A267**. P. 272-279.
- [3] *Hasegawa T., Hazumi M., Kasai S. et al.* Tests of new polystyrene-based scintillators // Nucl. Instr. and Meth.. 1992. **A311**. P. 498-501.
- [4] *Павлов Н.Н.* Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях.-М.: Химия.1982. 220 с.
- [5] *Kamon T., Kondo K., Yamashita A. et. al.* A new scintillators and wavelength shifter // Nucl. Instr. and Meth. 1983. **213**. P. 261-269.
- [6] *Б.Рэнби, Я.Рабек.* Фотодеструкция, фотоокисление, фотостабилизация полимеров // М.: Мир.1978. 675 с.