

Возможности полиэтилен-керамического композита в сравнении с полиэтиленовой пленкой в реальных условиях эксплуатации

Р.Х. Рахимов^{1, a} ©, В.П. Ермаков^{1, b} ©, М.Р. Рахимов^{1, c} ©, Д.Н. Мухторов^{2, d} ©

¹ Институт материаловедения Научно-производственного объединения «Физика-Солнце»
Академии наук Республики Узбекистан,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

² Ферганский политехнический институт,
г. Фергана, Республика Узбекистан

^a E-mail: rustam-shsul@yandex.com

^b E-mail: labimanod@uzsci.net

^c E-mail: rustam-shsul@yandex.com

^d E-mail: dimajone0909@gmail.com

Аннотация. В настоящей статье приводятся результаты натурных испытаний полиэтилен-керамического композита в реальных условиях, на высоте 1100 метров над уровнем моря. Связано это с тем, что на данной высоте уровень УФ, который разрушает полиэтилен, существенно выше, чем на уровне моря. Параллельно проводились и результаты тестирования обычной полиэтиленовой пленки, для сравнительной оценки эффективности.

Ключевые слова: функциональная керамика, преобразование энергии, инфракрасное излучение, пленочно-керамический композит, пустыни, Арал, импульсное излучение, экология, энергосбережение

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Рахимов М.Р., Мухторов Д.Н. Возможности полиэтилен-керамического композита в сравнении с полиэтиленовой пленкой в реальных условиях эксплуатации // Computational nanotechnology. 2022. Т. 9. № 2. С. 67–72. DOI: 10.33693/2313-223X-2022-9-2-67-72

Capabilities of Polyethylene-ceramic Composite in Comparison with Polyethylene Film in Real Operation Conditions

R.Kh. Rakhimov^{1, a} ©, V.P. Yermakov^{1, b} ©, M.R. Rakhimov^{1, c} ©, D.N. Mukhtorov^{2, d} ©

¹ Institute of Materials Science of the SPA “Physics-Sun” of the Academy of Science of Uzbekistan,
Tashkent, Republic of Uzbekistan

² Fergana Polytechnic Institute,
Fergana, Republic of Uzbekistan

^a E-mail: rustam-shsul@yandex.com

^b E-mail: labimanod@uzsci.net

^c E-mail: rustam-shsul@yandex.com

^d E-mail: dimajone0909@gmail.com

Abstract. This article presents the results of full-scale tests of a polyethylene-ceramic composite in real conditions, at an altitude of 1100 meters above sea level. This is due to the fact that at this height the level of UV, which destroys polyethylene, is significantly higher than at sea level. In parallel, the results of testing a conventional polyethylene film were also carried out, for a comparative assessment of effectiveness.

Key words: functional ceramics, energy conversion, infrared radiation, film-ceramic composite, deserts, Aral, pulsed radiation, ecology, energy saving

FOR CITATION: Rakhimov R.Kh., Yermakov V.P., Rakhimov M.R., Mukhtorov D.N. Capabilities of Polyethylene-ceramic Composite IN Comparison with Polyethylene Film in Real Operation Conditions. *Computational Nanotechnology*. 2022. Vol. 9. No. 2. Pp. 67–72. (In Rus.) DOI: 10.33693/2313-223X-2022-9-2-67-72

ПРИНЦИП РАБОТЫ ПЛЕНОЧНО-КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПЗИТА И ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Предварительные результаты по пленочно-керамическому композиту и его производству были опубликованы в [1]. В настоящей статье приводятся результаты натуральных испытаний полиэтилен-керамического композита в реальных условиях, на высоте 1100 метров над уровнем моря. Связано это с тем, что на данной высоте уровень УФ, который разрушает полиэтилен, существенно выше, чем на уровне моря. Параллельно проводились и результаты тестирования обычной полиэтиленовой пленки, для сравнительной оценки эффективности.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ

Пленочно-керамический композит преобразует энергию Солнца в излучение с максимумами 0,62–0,68 мкм которое необходимо для фотосинтеза; 3,2–3,6 мкм, диапазон, в котором полиэтиленовая пленка непрозрачна и происходит удержание температуры в ночное время или в пасмурную погоду; а также в дальнее ИК- излучение с максимумом 9,7–10,0 мкм для поддержания оптимальной температуры. Это обеспечивается тем, что функциональная керамика (0,3% масс) позволяет создать из одного высокоэнергетического фотона УФ и видимой области, 10–20 фотонов, с энергией соответствующей температуре 17–26 °С. Это происходит при любой температуре внешней среды. Таким образом, в жару пленка охлаждает, а в прохладу – повышает температуру. Температура переключения около 25 °С.

Натурные испытания показали, что предлагаемый метод обеспечивает снижение расхода газа в теплицах или других подобных объектах до 60–100% по сравнению с обычными пленками и повышение урожайности до 50–100%. Испарение влаги сокращается до 4–6 раз.

Состояние разработка на внутреннем и внешнем рынках: разработка не имеет зарубежных аналогов.

Экспериментальное производство и отработка технологии проведены на АО «Джиззакпластмасса».

Испытания проведены в России, Белоруссии, Киргизии, Германии, Греции, Китае, Индии, Испании, Эквадоре, Узбекистане и некоторых других странах, где была подтверждена высокая эффективность композита.

МЕХАНИЗМ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ ПЛЕНКИ

Основная керамика всегда преобразует солнечную энергию в импульсное излучение с квантовой температурой 17–22 °С. Это происходит при любой температуре внешней среды. Таким образом, в жару пленка охлаждает, а в прохладу – повышает температуру в теплицах. Из одного высокоэнергетического фотона образуется 20 и более фотонов с нужной квантовой энергией. Кроме того, импульсное излучение, генерируемое композитом, проникает на глубину более 1 метра, прогревая почву, которая, впоследствии служит источником фоонов, преобразующихся частично в фотоны, а частично поддерживают температуру почвы и корней растений. Кроме этого, керамика генерирует излучение и с другими длинами волн для активации необходимых процессов роста и развития растений. Расход топлива сокращается на 60–100%.

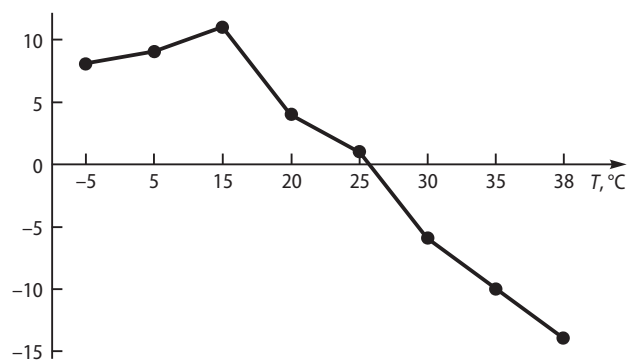


Рис. 1. Разница температур ΔT в камерах из чистой полиэтиленовой пленки и трехслойного композита в зависимости от температуры окружающей среды T . $\Delta T = T_1 - T_2$, где T_1 – температура под обычной пленкой; T_2 – температура под пленочно-керамическим композитом

Fig. 1. The temperature difference of ΔT in chambers made of pure polyethylene film and a three-layer composite depending on the ambient temperature T . $\Delta T = T_1 - T_2$, where T_1 is the temperature under the ordinary film, T_2 is the temperature under the film-ceramic composite

ПЛЕНКА НЕ ЗАПОТЕВАЕТ И НАБЛЮДАЮТСЯ МИНИМАЛЬНЫЕ ПОТЕРИ ВЛАГИ

Испарение снижается в 4–6 раз относительно обычной полиэтиленовой пленки. Это связано с тем, что градиент температуры в теплице небольшой, а нижний керамический слой композита постоянно излучает энергию, что предотвращает конденсацию влаги на нем.

Причины:

- 1) так как квантовая энергия преобразованного композитом соответствует температуре 17–22 °С, то и испарение резко снижается;
- 2) керамический слой имеет более высокую температуру. Нет конденсации на пленке;
- 3) равномерная температура и влажность воздуха по высоте внутри теплицы (не возникает «точка росы»).

Точка росы – это определенная температура охлаждения воздушного пространства, при которой водяные пары, меняют свое агрегатное состояние, образуя конденсат в виде влажных капель. Она зависит от двух показателей: температурного режима и относительной влажности воздушной массы:

$$T_p = \frac{bf(T, Rh)}{a - f(T, Rh)}; \quad f(T, Rh) = \frac{aT}{b + T} + \ln\left(\frac{Rh}{100}\right),$$

где a – константа, равная 17,27; b – константа, равная 237,7; T – температура; Rh – относительная влажность воздуха на расчетный момент.

Как уже было отмечено, применение композитной пленки обеспечивает равномерность температуры и влажности воздуха по высоте теплицы или парника, а также зоной самой высокой температуры является нижний слой композитной пленки, где и происходит преобразование ультрафиолетовой и видимой части солнечного спектра в инфракрасные импульсы, что не дает идти процессу конденсации влаги и снижает потери влаги.

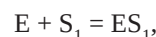
КАКОЕ ЕЩЕ ПРИМЕНЕНИЕ МОЖЕТ НАЙТИ КОМПОЗИТ, КРОМЕ ПАРНИКОВ И ТЕПЛИЦ?

1. Применение композита позволит обеспечивать комфортные условия в служебных и жилых помещениях, а также на открытом воздухе, за счет стабилизации температуры и снижения испарения влаги.
2. Применение композита позволит осваивать пустыни, превращая их в оазис.
3. В настоящее время, мы работаем над проектом по восстановлению зоны Арала за счет применения пленочно-керамического композита.

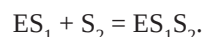
ПОЧЕМУ НЕТ ХАРАКТЕРНОГО ЗАПАХА В ТЕПЛИЦАХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПОЗИТА?

Композит обеспечивает, так называемую, низкотемпературную стерилизацию. Принцип действия заключается в следующем. Импульсы, генерируемые функциональной керамикой подобраны с такими параметрами, что подавляют процесс копирования ДНК и РНК патогенной микрофлоры, следовательно, их размножение.

Механизм размножения патогенной микрофлоры происходит за счет копирования ДНК или РНК, соответствующим ферментом конкретного микроорганизма. Этот процесс происходит за счет образования фермент-субстратного комплекса:



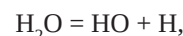
где E – фермент; S_1 – субстрат. На следующем этапе присоединится следующий субстрат:



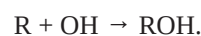
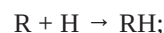
И этот процесс продолжается до завершения роста в соответствии с кодом ДНК или РНК.

Фермент-субстратный комплекс, в момент копирования, представляет из себя радикал. Обозначим его на любом этапе роста как R , который по мере роста цепи постоянно удлиняется за счет присоединения последующих цепочек из субстрата.

Импульсы, генерируемые функциональной керамикой, образуют радикалы из воды:



которые, реагируя с растущим фермент-субстратным комплексом, рекомбинируют, что приводит к разрыву цепи роста патогена. Таким образом, патогенная микрофлора погибает:



В ЧЕМ ЗАКЛЮЧАЕТСЯ МЕХАНИЗМ УЛУЧШЕНИЯ ФОТОСИНТЕЗА?

При освещенности ниже определенного порога (порог зависит от типа c/x культур) фотосинтез не происходит.

Имеется минимальное значение интенсивности света красной области $I_{кр}$, ниже которого фотосинтез невозможен.

Процесс фотосинтеза происходит так: поглощается фотон света за период t и требуется около 50 таких длительностей времени для усвоения и переработки этого кванта. Если подавать это излучение импульсно, что позволяет осуществить композит, то плотность излучения в импульсе значительно превосходит этот порог даже в сумерки. Это обеспечивает нормальный фотосинтез и, фактически, продлевает световой день, а также существенно влияет на эффективность в пасмурные дни.

Другими словами, пленочно-керамический композит обеспечивает в импульсе значение освещенности в красной области выше $I_{кр}$. При этом из-за импульсности генерируемого композитом излучения, наблюдается высокий уровень фотосинтеза даже при слабой средней освещенности, так как для реакции усвоения поглощенного фотона (темновой реакции) не требуется освещения

ЧЕМ ОБЪЯСНЯЕТСЯ БЫСТРЫЙ РОСТ РАСТЕНИЙ И ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ К ЗАБОЛЕВАНИЯМ?

В любых видах семян имеется **фитохром**, который управляет активностью ферментов и, соответственно, ростом и развитием растений. Он может переходить из одного состояния в другое: конформационное состояние под воздействием света с длиной волны 660 нанометров (активация ферментов) и 730 нанометров (подавление активности ферментов). Учитывая, что 660 нм является той частью спектра, которая отвечает за фотосинтез, а композит генерирует эту энергию в импульсном режиме, происходит активация фитохрома. Подробно этот механизм с математической моделью приведен в [3].

ЧЕМ ОБЪЯСНЯЕТСЯ ВЫСОКАЯ УРОЖАЙНОСТЬ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПОЗИТА?

Причины: оптимизация температуры, активация фитохрома, импульсная генерация красного света высокой плотности даже при слабом освещении, позволяет растениям поглощать фотоны при слабой внешней освещенности, резких скачках внешней температуры, а также из-за того, что композит обеспечивает хороший прогрев почвы и сохранение влажности до 6 раз дольше, чем при использовании обычного полиэтилена, подавление патогенов, улучшение опыления – пчелы выбирают зоны, где больше цветков.

ПОЧЕМУ СОХРАНЯЕТСЯ ТЕМПЕРАТУРА В НОЧНОЕ ВРЕМЯ?

Это связано с тем, что в композит добавляется функциональная керамика, генерирующая излучение с длиной волны 3,2–3,6 мкм. Полиэтилен не прозрачен в этом диапазоне [4]. Кроме того, почва за счет ИК-импульсов, генерируемых композитом, прогревается на глубину до 1 метра и служит тепловым аккумулятором в прохладное время.

ДОСТАТОЧНО ЛИ ИСХОДНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИТА В ТРЕБУЕМЫХ ОБЪЕМАХ?

Преимущественно используется местное сырье, в основном, конечные отходы меднорудного комбината, которых миллиарды тонн (г. Алмалык).

КАКОВА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КОМПОЗИТА?

Проведенные испытания в горах на высоте 1100 метров, где уровень ультрафиолетового излучения значительно превышает его уровень в Ташкенте, получили следующие результаты. В период с февраля по декабрь 2021 г., обычную полиэтиленовую пленку из-за деструкции, пришлось менять 6 раз. Композит же до настоящего времени находится в неизменном виде. Связанно это с тем, что керамика преобразуя УФ излу-

чение в требуемые нам 9,5–10 мкм, способна произвести 30–50 фотонов с такой длины волны. Это не только надежно защищает композит от деструкции и увеличивает продолжительность ее эксплуатации, но и способствует надежной стабилизации температуры внутри парника, теплицы, служебных и жилых помещений.

КАКИЕ ПРОБЛЕМЫ МЕШАЮТ ПРОИЗВОДСТВУ ПЛЕНОЧНО-КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА В БОЛЬШИХ ОБЪЕМАХ?

В первую очередь это связано с уникальностью Большой Солнечной Печи (БСП), на которой синтезируется функциональная керамика для пленочно-керамического композита. Она не может производить сотни тысяч и миллионы тонн керамики в год. В связи с этим, мы проводим ряд фундаментальных исследований, позволяющих получить функциональную керамику с характеристиками, идентичными полученным на БСП.

При синтезе на БСП на вещество воздействует мощный поток фотонов с очень широким набором энергий, результатом чего является образование всех возможных метастабильных состояний для данного вещества или соединения, а также происходят все возможные в этом диапазоне энергий фото- и фотохимические процессы. Этим и объясняются особые свойства полученных таким путем материалов. В частности, генерация импульсов с заданными характеристиками за счет солнечного излучения.

Необходимо разработать технологию получения функциональной керамики с требуемыми характеристиками более производительным методом. Предварительные результаты исследований, проведенных с белорусскими коллегами, показали обнадеживающие результаты. По новой технологической схеме 80–90% производства основаны на традиционных способах, а 10–20% будут осуществляться с использованием функциональной керамики, которая генерирует импульсы, способные активировать синтезированные материалы. Это говорит о том, что мы можем сделать специальные высокопроизводительные печи из нашей же функциональной керамики с требуемыми характеристиками. Такие исследования мы уже проводили с другими материалами и получили различные характеристики материалов из одного и того же сырья, только лишь за счет изменения параметров генерируемых импульсов [2]. Сейчас к этой программе подключаются и другие страны.

ВЫВОДЫ

Использование композита дает следующие преимущества:

- 1) снижается расход топлива, как минимум на 40–60% (в реальности, мы ни разу не подключали отопление – температура стабильная;
- 2) урожайность повышается на 50–100%;
- 3) не образуется конденсата, который, превратившись в лед или укрупнившись, падает на растения и приводит к их повреждению и даже гибели; снижается расход воды в 4–6 раз;

- 4) обеспечивается дезинфекция помещений, и устраняются неприятные запахи жизнедеятельности патогенных микроорганизмов; не наблюдаются заболевания растений;
- 5) характерно, что пчелы выбирают именно теплицы с композитом, что обеспечивало хорошее опыление растений и, как следствие, высокую урожайность;
- 6) высокая устойчивость к УФ-излучению и сохранение основных параметров при неблагоприятных условиях;
- 7) учитывая, что Узбекистан на 70% состоит из пустынь, мы видим одной из главных функций композита – превращение пустынных земель в оазисы и восстановление зоны Арала.

Литература

1. Rakhimov R.Kh., Yermakov V.P., Rakhimov M.R. et al. Features of synthesis of functional ceramics with a complex of the set properties by a radiation method. Part 3 // *Comp. Nanotechnol.* 2018. No. 2. Pp. 76–82.
2. Рахимов Р.Х., Рашидов Х.К., Ермаков В.П. и др. Особенности синтеза функциональной керамики с комплексом заданных свойств радиационным методом. Ч. 4. // *Comp. nanotechnol.* 2016. № 2. С. 77–80.
3. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Рахимов М.Р., Латипов Р.Н. Особенности синтеза функциональной керамики с комплексом заданных свойств радиационным методом. Ч. 6 // *Comp. nanotechnol.* 2016. № 3. С. 6–34.
4. <https://www.ngpedia.ru/id464966p4.html>
5. Рашидов Ж.Х. и др. Способ обогащения каолинового сырья и устройство для его реализации. Патент № RU2748082. Заявка: 2020128986, 01.09.2020. Дата регистрации: 19.05.2021.
6. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Рахимов М.Р. Композиция для получения пленочно-керамического композита для гелиосушилок на основе полиэтилена. Патент на изобретение № IAP 04844, 24.08.2011.
7. Rakhimov R.Kh., Kim E. Radiation emitting ceramic materials and devices containing same. Patent number: 5350927. Date of Patent: September 27, 1994
8. Rakhimov R.Kh., Kim E. Treatment of materials with infrared radiation. Патент США 5472720 от 5 декабря 1995.
9. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Рахимов М.Р. Синтез материалов радиационным методом и их применение // *Гелиотехника.* 2022. № 1.
10. Ermakov V.P., Rakhimov M.R. Energy transfer efficiency of iron oxide-based film ceramic heat photon converter // *Applied Solar Energy.* 2009. No. 45. Pp. 200–202.
11. <http://www.springerlink.com/content/ug35v5188814u5w7/>
12. Rakhimov R.Kh., Ermakov V.P., John P., Rakhimov M.R. Anwendung funktioneller keramiken fur technologien des trocknens mit impuls-infrarot // *Freiberger Forschungshefte (Фрайбергские исследовательские папки).* Журнал Горной Академии. 2014. S. 1–44.
13. Rakhimov R.Kh. Mechanismus zur Erzeugung von Infrerotimpulsen mit funktionalen Keramiken // *Freiberger Forschungshefte (Фрайбергские исследовательские папки).* Журнал Горной Академии. 2014. S. 1–13.
14. Рахимов Р.Х., Саидов М.С., Ермаков В.П. Особенности синтеза функциональной керамики с комплексом заданных свойств радиационным методом. Ч. 5: Механизм генерации импульсов функциональной керамикой // *Comp. nanotechnol.* 2016. № 2. С. 81–93.
15. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Рахимов М.Р. Фононный механизм преобразования в керамических материалах // *Comp. nanotechnol.* 2017. № 4. С. 21–35.

References

1. Rakhimov R.Kh., Yermakov V.P., Rakhimov M.R. et al. Features of synthesis of functional ceramics with a complex of the set properties by a radiation method. Part 3. *Comp. Nanotechnol.* 2018. No. 2. Pp. 76–82.
2. Rakhimov R.Kh., Rashidov H.Kh., Ermakov V.P., et al. Features of the synthesis of functional ceramics with a set of specified properties by the radiation method. Part 4. *Comp. Nanotechnol.* 2016. No. 2. Pp. 77–80. (In Rus.)
3. Rakhimov R.Kh., Ermakov V.P., Rakhimov M.R., Latipov R.N. Features of the synthesis of functional ceramics with a set of specified properties by the radiation method. Part 6. *Comp. Nanotechnol.* 2016. No. 3. Pp. 6–34. (In Rus.)
4. <https://www.ngpedia.ru/id464966p4.html>
5. Rashidov Zh.Kh. et al. A method for enriching kaolin raw materials and a device for its implementation. Russian patent No. RU2748082. Application: 2020128986, 01.09.2020. Registration date: 19.05.2021.
6. Rakhimov R.Kh., Ermakov V.P., Rakhimov M.R. Composition for obtaining a film-ceramic composite for solar dryers based on polyethylene. Patent for invention No. IAR 04844, 24.08.2011.
7. Rakhimov R.Kh., Kim E. Radiation emitting ceramic materials and devices containing same. Patent number: 5350927. Date of Patent: September 27, 1994.
8. Rakhimov R.Kh., Kim E. Treatment of materials with infrared radiation. US Patent 5472720 dated December 5, 1995.
9. Rakhimov R.Kh., Ermakov V.P., Rakhimov M.R. Synthesis of materials by radiation method and their application. *Solar Engineering.* 2022. No. 1. (In Rus.)
10. Ermakov V.P., Rakhimov M.R. Energy transfer efficiency of iron oxide-based film ceramic heat photon converter. *Applied Solar Energy.* 2009. No. 45. Pp. 200–202.
11. <http://www.springerlink.com/content/ug35v5188814u5w7/>
12. Rakhimov R.Kh., Ermakov V.P., John P., Rakhimov M.R. Anwendung funktioneller keramiken fur technologien des trocknens mit impuls-infrarot. *Freiberg research Folders (Freiberger Forschungshefte).* *Journal of the Mining Academy.* 2014. S. 1–44.
13. Rakhimov R.Kh. Mechanismus zur Erzeugung von Infrerotimpulsen mit funktionalen Keramiken. *Freiberg research Folders (Freiberger Forschungshefte).* *Journal of the Mining Academy.* 2014. S. 1–13.
14. Rakhimov R.Kh., Saidov M.S., Ermakov V.P. Features of the synthesis of functional ceramics with a set of specified properties by the radiation method. Part 5: The mechanism of pulse generation by functional ceramics. *Comp. Nanotechnol.* 2016. No. 2. Pp. 81–93. (In Rus.)
15. Rakhimov R.Kh., Ermakov V.P., Rakhimov M.R. Phonon transformation mechanism in ceramic materials. *Comp. Nanotechnol.* 2017. No. 4. Pp. 21–35. (In Rus.)

Статья проверена программой Антиплагиат

Р е ц е н з е н т: *Раджапов С.А.*, доктор физико-математических наук; ведущий научный сотрудник Физико-технического института НПО «Физика-Солнце» АН РУз (Ташкент, Республика Узбекистан)

Статья поступила в редакцию 12.05.2022, принята к публикации 15.06.2022

The article was received on 12.05.2022, accepted for publication 15.06.2022

Сведения об авторах

Рахимов Рустам Хакимович, доктор технических наук, профессор; заведующий лабораторией № 1 Института материаловедения Научно-производственного объединения «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан. Ташкент, Республика Узбекистан. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6964-9260>; E-mail: rustam-shsul@yandex.com

Ермаков Владимир Петрович, старший научный сотрудник лаборатории № 1 Института материаловедения Научно-производственного объединения «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан. Ташкент, Республика Узбекистан. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0632-6680>; E-mail: labimanod@uzsci.net

Рахимов Мурод Рустамович, младший научный сотрудник лаборатории № 1 Института материаловедения Научно-производственного объединения «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан. Ташкент, Республика Узбекистан. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0686-5681>; E-mail: rustam-shsul@yandex.com

Мухторов Дильмурод Нумонжонович, ассистент кафедры «Электротехника, электромеханика и электро-технология» Ферганского политехнического института. Фергана, Республика Узбекистан. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7916-5147>; E-mail: dimajone0909@gmail.com

About the authors

Rustam Kh. Rakhimov, Dr. Sci. (Eng.), Professor; Head at the Laboratory No. 1 of the Institute of Materials Science of the SPA “Physics-Sun” of the Academy of Science of Uzbekistan. Tashkent, Republic of Uzbekistan. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6964-9260>; E-mail: rustam-shsul@yandex.com

Vladimir P. Yermakov, senior research at the Laboratory No. 1 of the Institute of Materials Science of the SPA “Physics-Sun” of the Academy of Science of Uzbekistan. Tashkent, Republic of Uzbekistan. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0632-6680>; E-mail: labimanod@uzsci.net

Murod R. Rakhimov, research at the Laboratory No. 1 of the Institute of Materials Science of the SPA “Physics-Sun” of the Academy of Science of Uzbekistan. Tashkent, Republic of Uzbekistan. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0686-5681>; E-mail: rustam-shsul@yandex.com

Dilmurod N. Mukhtorov, assistant at the Department of Electrical Engineering, Electrical Mechanics and Electrical Technology of the Fergana Polytechnic Institute. Fergana, Republic of Uzbekistan. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7916-5147>; E-mail: dimajone0909@gmail.com