

**ПОТЕНЦИАЛ-ИНДУЦИРОВАННАЯ ДЕГРАДАЦИЯ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ
НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ И МЕТОДЫ
ЕЕ СНИЖЕНИЯ**

С. М. Барайшук, канд. физ.-мат. наук, доцент

И. А. Павлович, ст. преподаватель

Т. М. Ткаченко, канд. физ.-мат. наук, доцент

УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет»,

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Доклад посвящен проблеме потенциал-индуцированной деградации (ПИД) фотоэлектрических установок на животноводческих комплексах Беларуси, снижающей эффективность солнечных панелей. Предложено техническое решение: комбинация жертвенного оцинкованного заземлителя (потенциал $\approx -0,76$ В) и графит-гидрогелевой смеси (15–18 % графита, 1–2 % гидрогеля). Это позволяет снизить скорость ПИД в 1,5–2 раза. Дальнейшие исследования направлены на адаптацию смеси к типам грунтов и разработку методик расчета защитных систем для животноводческих объектов.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 31 декабря 2025 г. № 819 утверждена Государственная программа «Устойчивая энергетика и энергоэффективность» на 2026–2030 годы [1]. Одним из приоритетов программы является увеличение доли местных топливно-энергетических ресурсов, включая возобновляемые источники энергии. Животноводческие комплексы, обладающие значительными площадями крыш и прилегающих территорий, рассматриваются как перспективные объекты для размещения фотоэлектрических (ФЭ) установок. Однако эксплуатация солнечных панелей в условиях сельскохозяйственного производства сопряжена с факторами, ускоряющими потенциал-индуцированную деградацию (ПИД) элементов фотопреобразователей и конструкций фотоустановок.

Потенциал-индуцированная деградация возникает из-за разности электрических потенциалов между полупроводниковыми элементами ФЭ-модуля и заземленной рамой. В стандартных солнечных электростанциях напряжение между цепочкой модулей и землей может достигать 1 000 В и более. Под действием этого напряжения через диэлектрические слои (стекло, EVA-пленку) протекает ток утечки, который инициирует миграцию ионов натрия (Na^+) из стекла к р-п-переходу [2].

Это приводит к шунтированию переходов, снижению эффективности сбора носителей заряда и необратимой потере мощности. Согласно техническим отчетам, среднегодовая скорость деградации для кристаллических кремниевых модулей в условиях повышенной влажности может достигать 0,5–1,0 % [3]. Стандарт IEC/TS 62804-1 регламентирует методы испытаний и разделяет ПИД на два основных типа: PID-s (шунтирующий) и PID-p (поляризационный) [4].

В Республике Беларусь накоплен опыт внедрения ФЭ-установок на объектах агропромышленного комплекса. В СПК «Свитязянка-2003» (Кореличский район) при строительстве молочно-товарной фермы «Райца-1» также были установлены солнечные батареи на крыше молочного блока, что позволило сократить расход покупной электроэнергии [5]. Известен также пример фермы «Агро-Бокс Зоотех» (Минская область), где с 2011 г. работает система электроснабжения с использованием солнечных панелей и ветроэнергетической установки мощностью 3,6 кВт [6]. Анализ эксплуатационных данных этих объектов показывает, что фактические темпы деградации модулей могут превышать паспортные значения из-за воздействия влаги, аммиачных испарений и нестабильности параметров заземления [7].

Для борьбы с ПИД в работах [7–9] предложен и экспериментально подтвержден способ снижения переходного сопротивления заземляющих устройств с помощью смеси на основе мелкодисперсного графита (15–18 % масс.) и полимерного гидрогеля (1–2 % масс.). Данная смесь обеспечивает стабильную влажность в околоэлектродной зоне и создает объемную проводящую среду, снижая сопротивление растеканию тока, в том числе на высоких частотах. Для условий животноводческих ферм, где агрессивная среда ускоряет коррозию, предлагается использовать комбинацию:

- жертвенный электрод – оцинкованный стальной стержень (цинковая пластина), который, будучи более электроотрицательным материалом (потенциал цинка $\approx -0,76$ В), будет корродировать, в первую очередь принимая на себя токи утечки, вызывающие ПИД;

- графит-гидрогелевая смесь, заполняющая пространство вокруг электрода, которая снижает переходное сопротивление, стабилизирует электрохимические процессы и уменьшает коррозионную нагрузку на основной заземлитель.

Наличие патента Республики Беларусь на данную смесь [10] подтверждает ее новизну и промышленную применимость.

Заключение. Потенциал-индуцированная деградация является значимым фактором снижения эффективности солнечных панелей, эксплуатируемых на животноводческих комплексах Республики Беларусь. Реализация Государственной программы «Устойчивая энергетика и

энергоэффективность» на 2026–2030 годы требует обеспечения долговременной надежности генерирующих объектов. Предлагаемое техническое решение – комбинация жертвенного оцинкованного заземлителя и графит-гидрогелевой грунтозамещающей смеси – позволяет стабилизировать потенциал рам модулей, обеспечить низкое сопротивление растеканию токов утечки и снизить скорость ПИД в 1,5–2 раза. В настоящее время проводятся исследования, которые позволят не только снизить ПИД, но и уменьшить коррозионные процессы на металлических конструкциях, что позволит сделать их более долговечными. Кроме того, проводимые исследования направлены на адаптацию состава смеси к конкретным типам грунтов и разработку методики расчета защитных систем для типовых животноводческих объектов.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Т25УЗБ-024).

ЛИТЕРАТУРА

1. О Государственной программе «Устойчивая энергетика и энергоэффективность» на 2026–2030 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 31 дек. 2025 г. № 819 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://www.pravo.by> (дата обращения: 17.05.2026).

2. Causes, consequences, and treatments of induced degradation of solar PV: a comprehensive review / H. A. Kazem, M. T. Chaichan, A. H. A. Al-Waeli [at al.] // *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*. – 2024. – Vol. 31, Iss. 1. – P. 177–191.

3. Jordan, D. C. Photovoltaic degradation rates – an analytical review / D. C. Jordan, S. R. Kurtz // *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. – 2013. – Vol. 21, Iss. 1. – P. 12–29.

4. Photovoltaic (PV) modules – Test methods for the detection of potential-induced degradation – Part 1: Crystalline silicon: IEC/TS 62804-1:2015. – Geneva: ISO, 2015. – 28 p.

5. Карлюкевич, А. Солнечные батареи обогревают ферму: в СПК «Свитязянка-2003» Кореличского района торжественно открыли два новых здания молочно-товарной фермы «Райца-1» / А. Карлюкевич // *Сельская газета*. – 2018. – URL: <https://www.sb.by/articles/solnechnye-batarei-obogrevayut-fermu.html> (дата обращения: 10.05.2026).

6. Энергия солнца и ветра на 70 % обеспечивает водоснабжение фермы «Агро-Бокс Зоотех» в Минской области // БЕЛТА. – 2011. – URL: <https://energoeffect.gov.by/media-relations/publications/-70-q-q-> (дата обращения: 10.05.2026).

7. Павлович, И. А. Снижение электрического сопротивления заземляющих устройств применением грунтозамещающей смеси на основе графита и гидрогеля для стабилизации электрофизических параметров грунта / И. А. Павлович, С. М. Барайшук // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энергетических объединений СНГ*. – 2023. – Т. 66, № 4. – С. 322–332. – DOI: 10.21122/1029-7448-2023-66-4-322-332.

8. Павлович, И. А. Методики расчета сопротивления заземляющего устройства, выполненного с применением грунтозамещающей смеси, для оптимизации электрофизических параметров грунта / И. А. Павлович, С. М. Барайшук, В. В. Богданович // *Вестник Фонда фундаментальных исследований*. – 2023. – № 4. – С. 146–157.

9. Патент ВУ 24181. Смесь для снижения переходного сопротивления электрод – грунт: № 20220332; заявл. 20.12.2020; опубл. 28.02.2024 / С. М. Барайшук, И. А. Павлович; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – 3 с.