

10. Liquid Air Energy Storage (LAES) // Sumitomo Heavy Industries, Ltd. URL: <https://www.shi.co.jp/english/products/energy/cryobattery/index.html> (дата обращения: 27.03.2025).

11. **Михтахов К.Р., Орлов А.В.** Сверхпроводниковые индуктивные накопители энергии // Современные инновации. - 2017. - № 6.

12. **Гриц В.И., Дубовой Т.В.** Ионисторы // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. - 2015. - №1. - С. 240-241.

13. **Jie Zhang, Min Gu, Xi Chen** Supercapacitors for renewable energy applications: A review // Micro and Nano Engineering. - 2023. - №21

14. Ионисторы в энергетике // Энерговектор URL: <https://www.energovector.com/en/ergoznanie-ionistory-v-energetike.html> (дата обращения: 15.10.2025).

15. Global Energy Storage Market Records Biggest Jump Yet // BloombergNEF URL: <https://about.bnef.com/blog/global-energy-storage-market-records-biggest-jump-yet/> (дата обращения: 15.10.2025).

УДК 621.311.243

Коновалов Юрий Васильевич,

*к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: yrvaskon@mail.ru*

**Гончаренко Алена Анатольевна, Гончаренко Роман Анатольевич,
Шаура Максим Петрович, Иванов Иван Сергеевич,**

студенты группы ЭЭ-23-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

Петрова Анастасия Владимировна,

*ГБПОУ ИО «Ангарский политехнический техникум», преподаватель специальных дисциплин,
e-mail: nastya.surova.98@bk.ru*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Konovarov Yu.V., Goncharenko A.A., Goncharenko R.A., Shaura M.P., Ivanov I.S., Petrova A.V.

MODERN TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OF SOLAR BATTERIES

Аннотация. Выполнен анализ тенденций развития основных технологий при производстве высокоэффективных солнечных батарей. Установлено, что не только применение инновационных полупроводниковых материалов имеет важное значение для повышения эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую. Отмечена важная роль топологии размещения соединительных шин и рациональное использование дополнительных отражающих возможностей.

Ключевые слова: развитие, технологии, производство, солнечные батареи, топология размещения, соединительные шины, отражающие возможности.

Abstract. The analysis of the development trends of the main technologies in the production of highly efficient solar batteries is carried out. It is established that not only the use of innovative semiconductor materials is important for increasing the efficiency of converting solar energy into electrical energy. The important role of the topology of the placement of connecting buses and the rational use of additional reflective capabilities are noted.

Keywords: development, technology, production, solar panels, placement topology, busbars, reflecting possibilities.

Тенденции по повышению экологичности при производстве электроэнергии обретают все большее значение [1-3]. В России оказывается государственная поддержка развитию технологии возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В этом тренде находится и солнечная энергетика, которая становится

все более важным элементом глобальной энергетической системы. Повышение эффективности солнечной энергетики базируется на развитии технологий преобразователей солнечной энергии в электрических солнечных батареях [4-7].

На текущий момент можно отметить

восемь основных технологий, при производстве высокоэффективных солнечных батарей:

- PERC (Passivated Emitter Rear Cell) – диэлектрический слой на обратной стороне ячейки;
- Bifacial – двухсторонние;
- Multi Busbar – многолинейные;
- Split panels – половинчатые;
- Dual Glass – безрамочные, с двойным стеклом;
- Shingled Cells – безразрывные элементы;
- IBC (Interdigitated Back Contact cells) – переплетенные контакты сзади ячейки;
- HJT (Heterojunction cells) – гетероструктурные ячейки.

Из перечисленных выше, четыре основных типа солнечных панелей с использованием новейших технологий солнечных фотоэлементов развиваются в последнее время.

Профессор Мартин Грин, директор Австралийского центра передовой фотогальваники UNSW, изобрел концепцию PERC, которая в настоящее время широко используется многими ведущими производителями солнечных батарей во всем мире.

За последние два года PERC стал предпочтительной технологией для многих производителей как моно, так и поликристаллических ячеек. PERC расшифровывается как «задняя ячейка с активированным излучателем». Как представлено на рисунке 1, технология представляет собой более продвинутую архитектуру ячейки, использующую дополнительные слои на задней стороне ячейки для поглощения большего количества световых фотонов и увеличения «квантовой эффективности». Особенностью технологии PERC является алюминиевый задний слой Al-BSF – Local Aluminium Back Surface Field. Еще было разработано несколько других вариантов, таких как PERT (Passivated Emitter Rear Totally Diffused) и PERL (Passivated Emitter and Rear Locally-diffused), но они пока не получили широкого применения.

Обычные клетки PERC P-типа могут страдать от так называемого LeTID или деградации, вызванной светом и повышенной температурой. Явление LeTID похоже на хорошо известную деградацию, вызванную LID или светом, когда панель может потерять 2-3% от номинальной мощности в первый год воздействия УФ-излучения и от 0,5% до

0,8% в год после. К сожалению, потери из-за LeTID могут быть выше – до 6% в первые 2 года. Если эта потеря не будет полностью учтена производителем, это может привести к снижению производительности и потенциальным претензиям по гарантии.

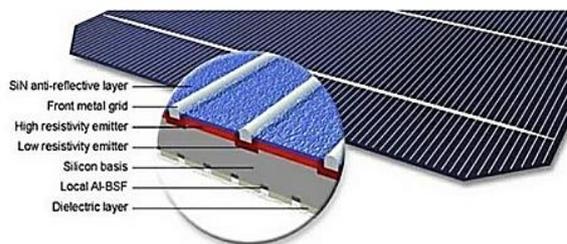


Рисунок 1 – Технология PERC

Кремниевые элементы N-типа, не страдают от воздействия LeTID. Кроме того, некоторые производители поли и моно PERC ячеек P-типа, разработали процессы уменьшения или устранения LeTID. Некоторые производители заявили о применении технологии анти-LeTID на своей продукции и утверждают, что уменьшили или устранили эффекты LeTID.

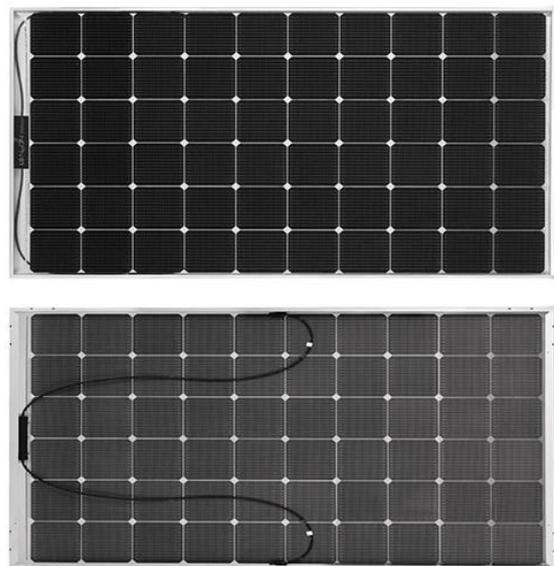


Рисунок 2 – Двухсторонние солнечные панели

Технология Bifacial двухсторонних солнечных батарей была известна уже нескольких лет, но сейчас начинает становиться популярной, поскольку стоимость производства монокристаллических элементов очень высокого качества продолжает снижаться. Двухсторонние элементы, примеры которых представлены на рисунке 2, погло-

щают свет с обеих сторон панели и в таких условиях могут производить до 27% больше энергии, чем традиционные односторонние панели.

В двухсторонних солнечных панелях обычно применяют стекло на передней стороне, а сзади, для герметизации ячеек – прозрачный полимерный слой. Он позволяет отраженному свету проникать с задней стороны панели. Двухсторонние модули также могут иметь стеклянный задний слой, который имеет больший срок службы и может значительно снизить риск отказа, поэтому некоторые производители теперь предлагают 30-летнюю гарантию на свою продукцию.

Традиционно двухсторонние солнечные панели использовались только в наземных установках, где солнечный свет легко отражался от окружающих поверхностей, в частности, в заснеженных районах. Хотя было доказано, что они хорошо работают и при монтаже на светлые поверхности, что позволяет увеличить выработку до 10%.

Двухсторонние модули, как показано на рисунке 3, поглощают отраженный солнечный свет обратной стороной панели.

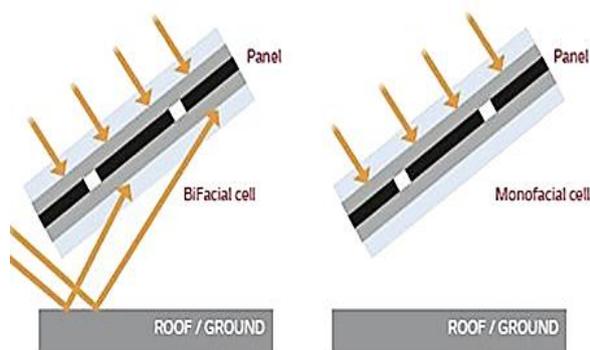


Рисунок 3 – Двухсторонние модули

Busbar или токоведущие шины представляют собой тонкие провода или ленты, которые проходят по каждой ячейке и переносят электроны (ток) от солнечных элементов. Поскольку фотоэлементы становятся более эффективными, они, в свою очередь, генерируют больше тока, и за последние годы большинство производителей перешли с 3 шин на 5 или 6 шин. Некоторые производители, сделали еще один шаг вперед и разработали многопроволочные системы, использующие до 12 очень тонких круглых проводов, а не плоских шин, что проиллюстрировано на рисунке 4. Выгода заключается в том, что сборные шины фактически затеняют

часть ячейки и поэтому могут немного снизить производительность, поэтому их необходимо тщательно проектировать. Несколько тонких шин обеспечивают более низкое сопротивление и более короткий путь перемещения электронов, что приводит к более высокой производительности.

Маленькие дорожки (тонкие шины) на каждой ячейке передают ток на 5 ленточных шин (рисунок 4):

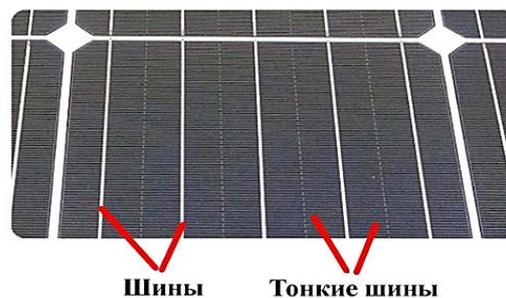


Рисунок 4 – Многолинейные солнечные элементы

Если в ячейке возникли микротрещины из-за ударов или высоких нагрузок, большее количество шин помогает снизить вероятность того, что трещина перерастет в горячую точку, поскольку они обеспечивают альтернативные пути прохождения тока.

В модулях LG Neon 2 впервые использовались 12 маленьких круглых проводных шин, LG называет свою технологию «Cello», которая означает соединение элементов, с низкими электрическими потерями. Многопроволочная технология Cello снижает электрическое сопротивление, тем самым уменьшаются потери напряжения, а уменьшение площади и применение закругленных шин дает лучшее оптическое поглощение света, тем самым повышается эффективность.

Фирма Trina Solar, вместе со многими другими производителями, начали предлагать тонкие круглые шинные ячейки под названием multi-bus (MBB) в качестве опции для ряда модулей с 2019 года. Как объяснялось ранее, еще одним преимуществом наличия большего количества шин является то, что при микротрещинах возникновение в ячейке из-за внешних напряжений, меньше вероятность того, что это создаст горячую точку, так как электроны имеют много альтернативных шин для протекания тока. Это показано на рисунке 5.

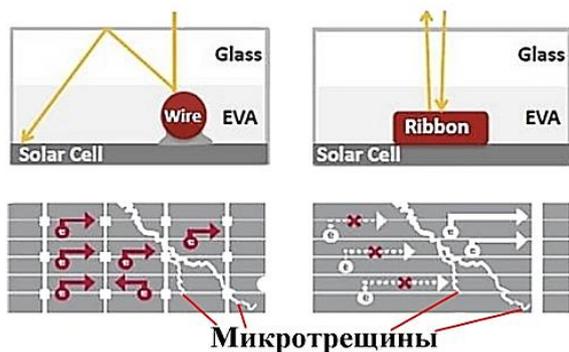


Рисунок 5 – Преимущества технологии Multi Busbar

Еще одно недавнее новшество – использование ячеек с половинным размером вместо квадратных ячеек полного размера и перемещение распределительной коробки в центр модуля, варианты которых представлены на рисунке 6. Тем самым разделяя солнечную панель на 2 меньшие панели по 50% площади, каждая из которых работает параллельно. Это имеет множество преимуществ, в том числе повышение производительности благодаря снижению резистивных потерь через шины (токоъемники). Поскольку каждая ячейка имеет половинный размер, она производит половину тока при одном и том же напряжении, что означает, что ширина шины может быть уменьшена наполовину, уменьшая затенение и потери ячейки. Снижение тока также приводит к снижению температуры в ячейке, что, в свою очередь, уменьшает потенциальное образование и серьезность горячих точек из-за локального затенения, загрязнения или повреждения ячейки.

Кроме того, более короткое расстояние до центра панели сверху и снизу повышает эффективность в целом, повышая выходную мощность панели аналогичного размера до 20 Вт. Другое преимущество заключается в том, что при частичном затенении верхней

или нижней части панели, затененная часть не влияет на выработку электроэнергии от другой половины солнечной батареи.

Рассмотрение тенденций развития основных технологий при производстве высокоэффективных солнечных батарей показывает, что не только применение инновационных полупроводниковых материалов имеет важное значение для повышения эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую, но и топология размещения соединительных шин и рациональное использование дополнительных отражающих возможностей.

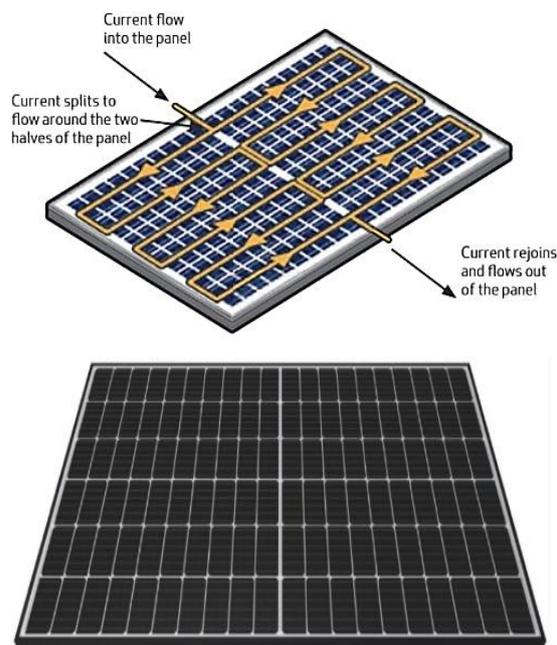


Рисунок 6 – Половинчатые солнечные батареи

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мозохин А.Е. и Шведенко В.Н.** 2019 Анализ направлений развития цифровизации отечественных и зарубежных энергетических систем Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 4. pp 657–672 Preprint doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-657-672.

2. **Коновалов, Ю.В.** Анализ качества электроэнергии на предприятии / Ю.В. Ко-

новалов, И.И. Воробьев // Вестник Ангарской государственной технической академии. 2014. № 8. – С. 57-60.

3. **Крюков, А.В.** Применение интеллектуальных технологий для электротехнических комплексов на нефтегазодобывающих предприятиях / А.В. Крюков, Ю.В. Коновалов // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2018. Т.1. № 15. – С. 162-169.

4. **Коновалов, Ю.В.** Развитие солнечной энергетики в России и мире / Ю.В. Коновалов, А.А. Козина // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2015. № 9. – С. 156-160.

5. **Коновалов, Ю.В.** Расчет инсоляции солнечной фотоэлектрической электростанции с учетом геолокационных и погодных параметров / Ю.В. Коновалов, А.Н. Хазиев // iPolytech Journal. 2022. Т. 26. № 3. – С. 439-450.

6. **Konovalev, Y.V.** Computer technology applications to calculate the insolation of photoelectric power plant / Y.V. Konovalev, A.N.

Khaziev / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 4. Ser. "IV International Scientific and Practical Conference "Actual Problems of the Energy Complex: Physical Processes, Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection"". 2022. – С. 012048.

7. **Коновалов, Ю.В.** Использование солнечных панелей для повышения надежности систем электроснабжения средств автоматики и сигнализации / Ю.В. Коновалов, А.Н. Хазиев // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2024. № 21. – С. 322-325.

УДК 621.31

Коновалов Юрий Васильевич,

*к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: yrvaskon@mail.ru*

**Гончаренко Алена Анатольевна, Гончаренко Роман Анатольевич,
Шаура Максим Петрович, Иванов Иван Сергеевич,**

студенты группы ЭЭ-23-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

Петрова Анастасия Владимировна,

*ГБПОУ ИО «Ангарский политехнический техникум», преподаватель специальных дисциплин,
e-mail: nastya.surova.98@bk.ru*

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Konovalev Yu.V., Goncharenko A.A., Goncharenko R.A., Shaura M.P., Ivanov I.S., Petrova A.V.

DIGITALIZATION AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN INDUSTRIAL SAFETY AT ELECTRIC POWER SITES

Аннотация. Промышленная безопасность на объектах электроэнергетики – это не просто набор правил и инструкций, а системная дисциплина, объединяющая инженерные решения, организационные меры, человеческий фактор и цифровые технологии. Её цель – предотвратить аварии, которые могут привести к гибели людей, масштабным разрушениям оборудования, экологическим катастрофам и экономическим потерям в миллиарды рублей.

Ключевые слова: электроэнергетика, риск, экономия, промышленная безопасность, цифровые технологии.

Abstract. Industrial safety at electric power facilities is not just a set of rules and structures, but a systematic discipline that combines engineering solutions, organizational measures, the human factor and digital technologies. Its goal is to prevent accidents that can lead to loss of life, large-scale destruction of equipment, environmental disasters and economic losses of billions of rubles.

Keywords: electric power industry, risk, savings, industrial safety, digital technologies.

Электроэнергетика – это фундамент современного общества. От работы медицинских учреждений и транспортных систем до цифровых платформ и промышленных предприятий – всё зависит от бесперебойного, безопасного и надёжного энергоснабжения [1]. Однако именно эта отрасль относится к

категории особо опасных и технически сложных объектов (ООТО), что обусловлено высокими энергетическими потенциалами, сложностью технологических процессов, масштабами инфраструктуры и потенциально катастрофическими последствиями аварий.