

Д. А. Елинов, О. В. Бирюкова, М. В. Чернецов, Э. В. Лапшин, Л. А. Тюрина

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

D. A. Elinov, O. V. Biryukova, M. V. Chernetsov, E. V. Lapshin, L. A. Tyurina

### ASSESSMENT OF THE POSSIBILITIES OF USING SOLAR POWER PLANTS TO GENERATE ELECTRICITY IN THE PENZA REGION

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Борьба с глобальным потеплением и ограничение техногенного воздействия на окружающую среду являются одними из важнейших задач, стоящих перед человечеством. Согласно прогнозам, температура на планете к 2100 г. может подняться на 4 °С. Серьезность проблемы подтверждается рядом международных документов и соглашений, содержащих меры по ограничению выбросов парниковых газов. В частности, в рамках 21-й Международной конференции по климату, прошедшей в Париже, было принято соглашение, поставившее целью не допустить повышения температуры на планете более чем на 2 °С. Решением, позволяющим снизить выброс парниковых газов в атмосферу, может стать использование возобновляемых источников электроэнергии, в частности солнечных электростанций. *Материалы и методы.* В работе использовались статистические данные по солнечной обстановке в Пензенской области. Проведено сравнение с существующими объектами возобновляемой энергетики на солнечных элементах, расположенными в схожих условиях по уровню инсоляции. Приведена оценка экономической обоснованности использования энергии солнца для генерации электроэнергии на территории Пензенской области. Даны рекомендации по техническому исполнению солнечных электростанций на территории Пензенской области, определено оптимальное значение коэффициента покрытия. *Результаты.* Предложенная методика оценки конструктивных параметров солнечных электростанций может быть применена при строительстве СЭС для повышения эффективности. Адекватность используемой методики подтверждается соответствием полученных результатов данным по действующим ветровым турбинам. *Выводы.* В результате проведенного анализа выявлено, что Пензенская область обладает достаточным потенциалом для строительства солнечных электростанций, но при существующих ценах на электроэнергию требуется значительное уменьшение стоимости строительства электростанций для достижения экономической эффективности.

**Abstract.** *Background.* The fight against global warming, and the restriction of technogenic impact on the environment are some of the most important tasks facing mankind. It is predicted that global temperatures could rise by 4 °C by 2100. The seriousness of the problem is confirmed by a number of international instruments and agreements containing measures to limit greenhouse gas emissions. In particular, in the framework of the 21 th International Conference on Climate, held in Paris was made an agreement, it aims to prevent the rise in temperature on the planet by more than 2 °C. Solutions to reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere, could be the use of renewable energy sources, such as solar plants. *Materials and methods.* In paper used statistical data on the solar situation in the Penza region. A comparison is made with existing renewable energy facilities based on solar cells located in similar conditions in terms of insolation. An assessment of the economic feasibility of using solar energy to generate electricity in the Penza region. Recommendations on the technical performance of solar power plants in the Penza region are given, the optimal value of the coverage coefficient is determined. *Results.* The proposed methodology for assessing the design parameters of solar power plants can be applied in the construction of solar power plants to improve efficiency. The adequacy of the methodology used is confirmed by the correspondence of the obtained results to the data on existing wind turbines. *Conclusions.* The analysis revealed that the Penza region has sufficient potential for the construction of solar power plants, but at current electricity prices, a significant reduction in the cost of building power plants is required to achieve econ.

**Ключевые слова:** альтернативные источники энергии, возобновляемая энергетика, солнечные электростанции, экономическая эффективность, оптимизация.

**Keywords:** alternative energy sources, renewable energy, solar power plants, economic efficiency, optimization.

**Актуальность**

Борьба с глобальным потеплением и ограничение техногенного воздействия на окружающую среду являются одними из важнейших задач, стоящих перед человечеством. Согласно прогнозам [1], температура на планете к 2100 г. может подняться на 4 °С. Серьезность проблемы подтверждается рядом международных документов и соглашений, содержащих меры по ограничению выбросов парниковых газов. В частности, в рамках 21-й Международной конференции по климату, прошедшей в Париже, было принято соглашение, поставившее целью не допустить повышения температуры на планете более чем на 2 °С. При этом основным путем достижения этой цели является снижение выбросов парниковых газов в атмосферу странами-подписантами. На рис. 1 приведены объемы выбросов парниковых газов по отраслям в Российской Федерации согласно данным отчетов [2].

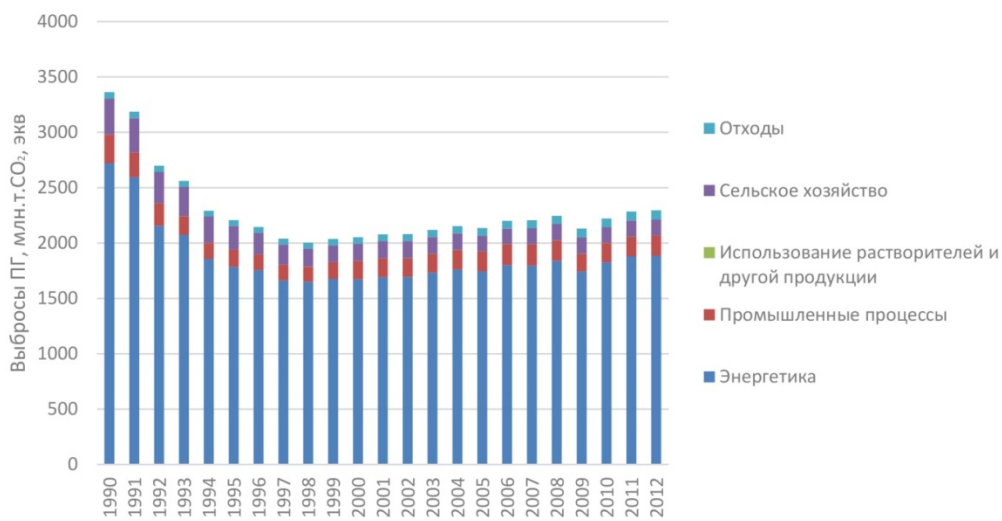


Рис. 1. Объемы выбросов парниковых газов по отраслям в 1990–2012 гг.

Таким образом доля выбросов парниковых газов наиболее существенна в энергетике и составляет порядка 80 % от общего объема выбросов по стране. Следовательно, производство энергии играет основную роль в загрязнении окружающей среды парниковыми газами и является наиболее перспективной областью для внедрения инноваций, снижающих выбросы. На рис. 2 приведены данные по разным странам [3], показывающие объем выброса парниковых газов при производстве МВт · ч электроэнергии.

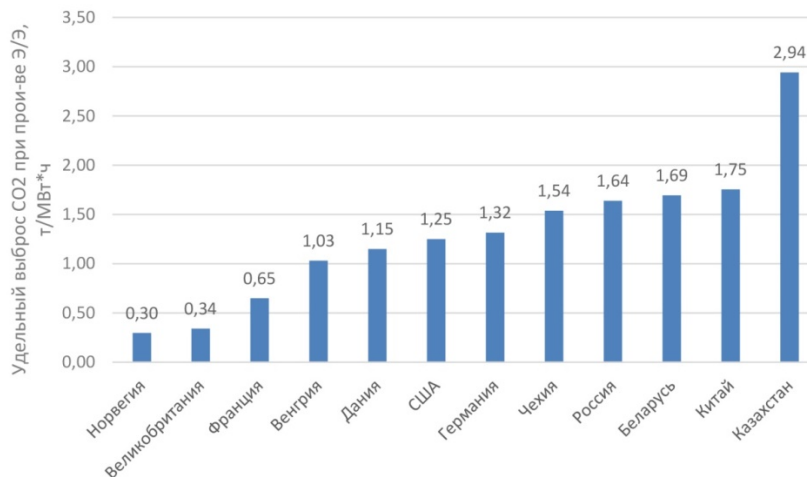


Рис. 2. Удельный выброс CO<sub>2</sub> при производстве электроэнергии

Решением, позволяющим снизить выброс парниковых газов в атмосферу, может стать использование возобновляемых источников электроэнергии. На рис. 3 приведены показатели выброса парниковых газов при производстве электроэнергии на различных типах электростанций [4].

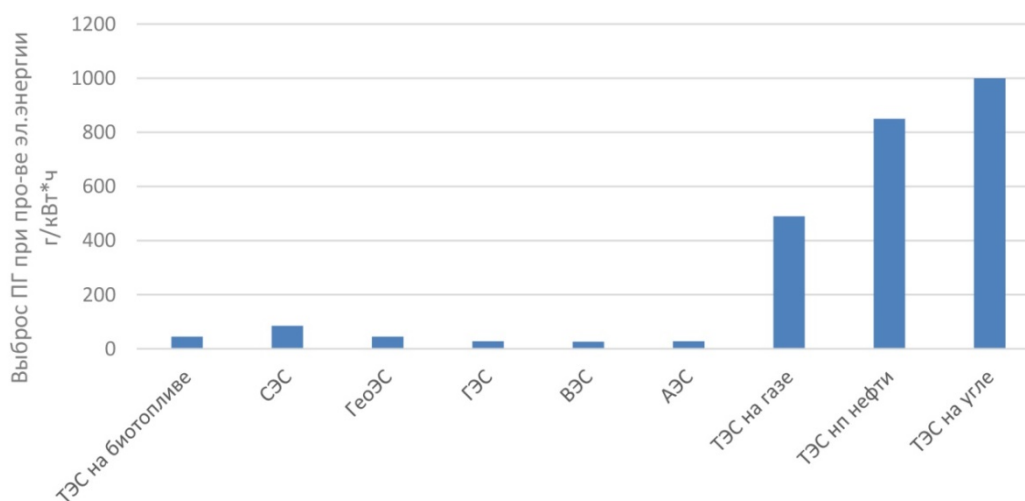


Рис. 3. Количество парниковых газов, выбрасываемых в окружающую среду при производстве электроэнергии

Таким образом, рассмотрение возможности применения электростанций на возобновляемых источниках электроэнергии представляется актуальной задачей.

### Структура генерации электрической энергии в Пензенской области

На территории Пензенской области расположены следующие электростанции:

- 1) ТЭЦ-1, установленная мощность 385 МВт;
- 2) ТЭЦ-2, установленная мощность 16 МВт;
- 3) ТЭЦ-3, установленная мощность 4 МВт.

При этом максимальное потребление электрической мощности в 2015 г., согласно данным системного оператора [5], составило 828,4 МВт. Выработка электроэнергии составила 2511,7 млн кВт · ч, потребление – 8075 млн кВт · ч.

Таким образом, установленная мощность генераторов в Пензенской области покрывает 49 % пикового потребления, а собственная генерация покрывает только 31 % от нужд энергопотребления. Следовательно, регион является энергодефицитным и развитие собственной генерации является актуальной задачей. Кроме того, вся генерация осуществляется на электростанциях на невозобновляемых источниках электроэнергии.

### Анализ солнечных ресурсов Пензенской области

Карта распределения интенсивности солнечной радиации (ИСР) по территории Пензенской области приведена на рис. 4. Карта составлена по данным, взятым из аналитических сборников [6]. Также с сайта NASA [7] были взяты данные по уровню ИСР для января и июля (рис. 5). Среднегодовые уровни радиации составляют 3,4 кВт · ч · м<sup>2</sup>/день. Таким образом, чтобы обеспечить выработку электроэнергии СЭС на уровне выработки всеми электростанциями Пензенской области, учитывая эффективность солнечного элемента на уровне 20 %, требуется площадь 10 км<sup>2</sup>. Учитывая то, что 70 % земель земельного фонда Пензенской области составляют земли сельскохозяйственного назначения, то использование части этих земель под СЭС представляется перспективным.

Наилучшие условия по уровню солнечной радиации находятся на юго-востоке области. Для дальнейших изысканий будем брать расчетную точку 1(T1) с координатами 52,5 с.ш., 46,0 в.д. С сайта NASA [7] получены данные по средней ИСР за 22 года по месяцам. В качестве точки (T2), с которой производится сравнение, возьмем точку с координатами 52,4 с.ш., 14,5 в.д. (Нойхарденберг, рис. 6), где расположена одна из крупнейших СЭС мира, с установленной мощностью 145МВт. Полученные данные сведены в табл. 1.

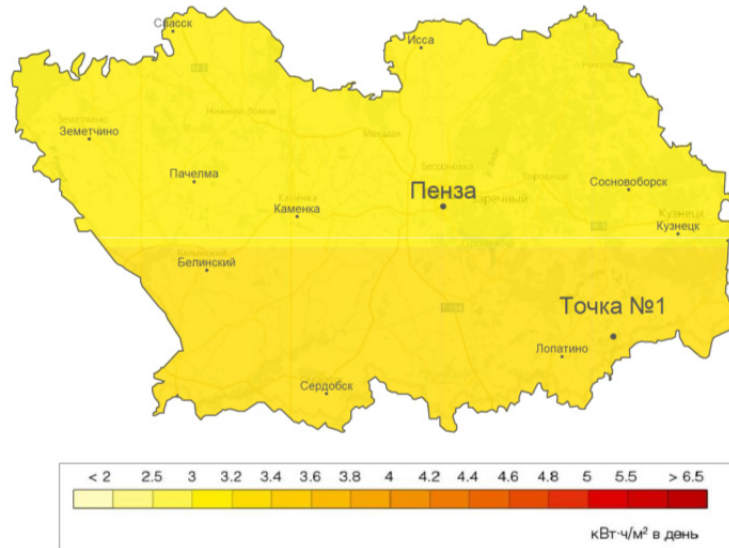


Рис. 4. Средняя за год суточная норма солнечной радиации

NASA Surface meteorology and Solar Energy: Data Subset



January Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh/m<sup>2</sup>/day)

	42	43	44	45	46	47
54	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78	0.78
53	0.86	0.86	0.87	0.87	0.89	0.89
52	0.94	0.94	0.96	0.96	0.95	0.95

July Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh/m<sup>2</sup>/day)

	42	43	44	45	46	47
54	5.59	5.59	5.56	5.56	5.60	5.60
53	5.70	5.70	5.69	5.69	5.70	5.70
52	5.83	5.83	5.88	5.88	5.92	5.92

Рис. 5. Данные по уровню солнечной радиации в Пензенской области в январе и июле



Рис. 6. СЭС в Нойхарденберге

Таблица 1

Данные по среднемесячной инсоляции

Месяц	ИСП Т1 – 52,5 с.ш., 46,0 в.д. (Пенз. обл.)	ИСП Т2 – 52,4 с.ш., 14,5 в.д. (Нойхарденберг)	Относительный прирост уровня ИСП $(I_{T1}-I_{T2})/I_{T2}$ , %
Январь	0,95	0,80	18.8
Февраль	1,79	1,51	18.5
Март	3,11	2,46	26.4
Апрель	4,34	3,73	16.4
Май	5,79	4,83	19.9
Июнь	6,14	4,84	26.9
Июль	5,92	4,82	22.8
Август	5,00	4,59	8.9
Сентябрь	3,31	2,79	18.6
Октябрь	1,89	1,64	15.2
Ноябрь	1,07	0,83	28.9
Декабрь	0,73	0,60	21.7

Таким образом, уровень инсоляции на юго-востоке Пензенской области превышает уровень инсоляции в Нойхарденберге в среднем на 20 %. Следовательно, можно сделать вывод, что Пензенская область обладает необходимыми солнечными ресурсами для постройки СЭС. Для дальнейшего анализа требуется произвести исследование технической стороны построения СЭС на территории Пензенской области.

### Технические вопросы построения СЭС на территории Пензенской области

При реализации проектов СЭС выделяют следующие этапы [8]:

- разработка концепции и определение расположения СЭС;
- предварительное технико-экономическое обоснование;
- технико-экономическое обоснование;
- получение разрешений, определение финансирования и заключение контрактов;
- проектирование, строительство и коммерческая эксплуатация.

На этапе разработки концепции определяются место расположения СЭС, тип и мощность СЭС, ожидаемый объем и себестоимость выработки электроэнергии, ожидаемый доход.

Для повышения выработки электроэнергии с солнечных модулей их следует располагать в плоскости перпендикулярной направлению на Солнце. Для осуществления слежения за Солнцем используются специальные системы наводки солнечных панелей по азимуту и по углу наклона к земной поверхности. Но при этом появляется проблема, обусловленная затенением панелей друг другом в различное время суток (рис. 7). В целях упрощения оценки примем, что панели СЭС будут ориентированы в южном направлении и управляться они будут только по углу наклона. Регулировка угла наклона будет осуществляться в пределах, обусловленных высотой Солнца над горизонтом в различное время года.

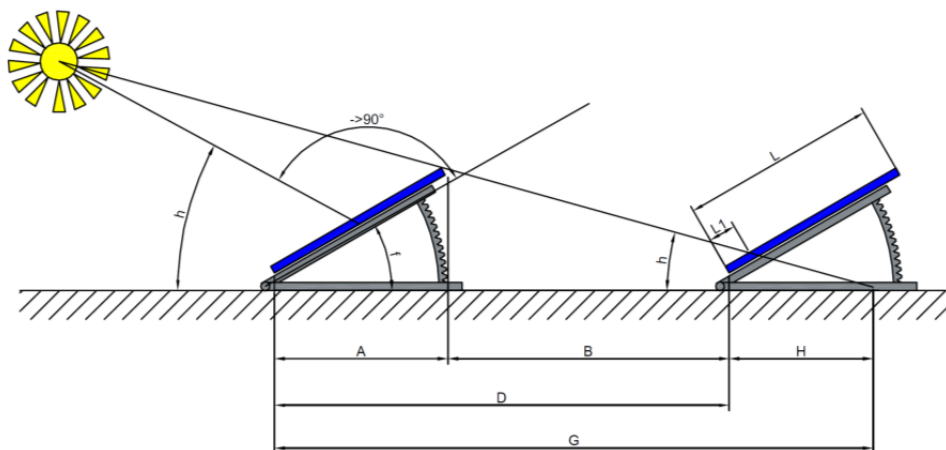


Рис. 7. Влияние угла наклона солнечной панели на затенение соседнего ряда панелей

Высота Солнца над горизонтом зависит от склонения Солнца в данный момент времени и от географической широты места наблюдения. Склонение Солнца можно определить по следующей формуле:

$$\delta = -23,44 \cdot \cos\left(\frac{360}{365} \cdot (N + 10)\right), \tag{1}$$

где  $N$  – количество дней, отсчитанных от 1-го января.

Высота Солнца над горизонтом в северном полушарии определяется по выражению

$$h = 90 - Lat + \delta, \tag{2}$$

где  $Lat$  – географическая широта.

Согласно рис. 7 значение угла наклона  $f$  будет определяться как

$$f = 90 - h. \tag{3}$$

Длина области затенения ( $G$ ) будет определяться по выражению

$$G = \frac{L}{\cos(f)} = KL, \tag{4}$$

где  $L$  – длина солнечной батареи,  $K = 1/\cos(f)$ .

Длина затененного участка солнечной батареи в соседнем ряду ( $L1$ ) будет определяться по выражению:

$$L1 = H \cdot \cos(f) = (G - D) \cos(f) = L - D \cos(f). \tag{5}$$

При этом если преобразовать выражение (5) для относительных величин, то получим

$$K_s = 1 - \frac{D}{L} \cos(f) = 1 - GCR^{-1} \cos(f), \tag{6}$$

где  $K_s$  – коэффициент затенения ( $K_s = L1/L$ );  $GCR$  – коэффициент покрытия [9].

Приняв значение  $K_s = 0$  из выражения (6), можно получить значение  $GCR$  для заданного угла наклона:

$$GCR = \cos(f). \tag{7}$$

Следует также отметить, что при расположении солнечной батареи в плоскости перпендикулярной направлению на Солнце, интенсивность солнечной радиации через поверхность элемента изменится по выражению

$$I_e = KI_g, \tag{8}$$

где  $I_e$  – ИСР на единицу площади элемента;  $I_g$  – ИСР на единицу площади на уровне земли;  $K = 1/\cos(f)$ .

По выражениям 2, 3, 7, 8 были получены значения величин  $h, f, GCR, I_e$  по месяцам для географической точки П1. Результаты вычислений сведены в табл. 2

Таблица 2

Месяц	Склонение $\delta$ , град	Высота Солнца $h$ , град	Угол наклона панели $f$ , град	$GCR$	ИСР на элементе $I_e$ , кВт · ч/м <sup>2</sup> в день
Январь	-21,30	16,20	73,80	0,28	3,41
Февраль	-13,70	23,80	66,20	0,40	4,43
Март	-2,92	34,58	55,42	0,57	5,48
Апрель	9,32	46,82	43,18	0,73	5,95
Май	18,96	56,46	33,54	0,83	6,95
Июнь	23,29	60,79	29,21	0,87	7,03
Июль	21,39	58,89	31,11	0,86	6,91
Август	13,53	51,03	38,97	0,78	6,43
Сентябрь	2,32	39,82	50,18	0,64	5,17
Октябрь	-9,87	27,63	62,37	0,46	4,08
Ноябрь	-19,08	18,42	71,58	0,32	3,39
Декабрь	-23,35	14,15	75,85	0,24	2,99

Из полученных результатов видно, что при разбивке поля солнечных элементов для зимнего времени на каждый метр панели требуется 4 м расстояния между рядами, а для летнего времени будет достаточно принять на каждый метр панели 1,15 м между рядами. При этом следует отметить, что если принять расстояние между рядами по зимнему времени, то в летние месяцы будет наблюдаться недобор мощности за счет неполного покрытия поля солнечными элементами, если же принять расстояние между рядами по летнему времени, то в зимние месяцы будет наблюдаться снижение вырабатываемой мощности за счет затенения солнечных элементов разных рядов.

Для решения задачи оптимального выбора расстояния между рядами солнечных элементов предлагается ввести величины потерь от недоиспользования участка ( $Los_o$ ) и потерь от затенения ( $Los_s$ ). Очевидно, что потери от недоиспользования будут наблюдаться при соблюдении условия  $G < D$ , а потери от затенения будут наблюдаться при условии  $G > D$ . При этом потери затенения будут обусловлены затенением некоторого участка  $L1$  солнечной батареи в соседнем ряду. Учитывая вышесказанное, можно записать выражения для  $Los_o$  и  $Los_s$  в следующем виде:

$$\begin{aligned} Los_o &= (D - G)I_g = (D - LK)I_g; \\ Los_s &= L1 \cdot KI_g = (L - D \cos(f))KI_g = (LK - D)I_g. \end{aligned} \tag{9}$$

При этом если осуществить деление каждого из выражений (9) на величину  $D$ , то они преобразуются к следующему виду:

$$\begin{aligned} Los_o &= (1 - K \cdot GCR)I_g; \\ Los_s &= (K \cdot GCR - 1)I_g. \end{aligned} \tag{10}$$

В выражениях (10)  $D$  в левой части не записывается, так как она не влияет на дальнейший анализ. Очевидно, что выражения (10) обратны друг другу и в сумме всегда будут давать ноль. Поэтому для дальнейшего анализа вместо критерия минимума суммы потерь предлагается использовать следующий критерий:

$$S = \sum_{i=1}^{12} |Los_{o,i}| \rightarrow \min. \tag{11}$$

Результаты расчетов значения  $S$  в зависимости от значения коэффициента  $GCR$  приведены на рис. 8. Значения коэффициентов  $GCR$  взяты из табл. 2.

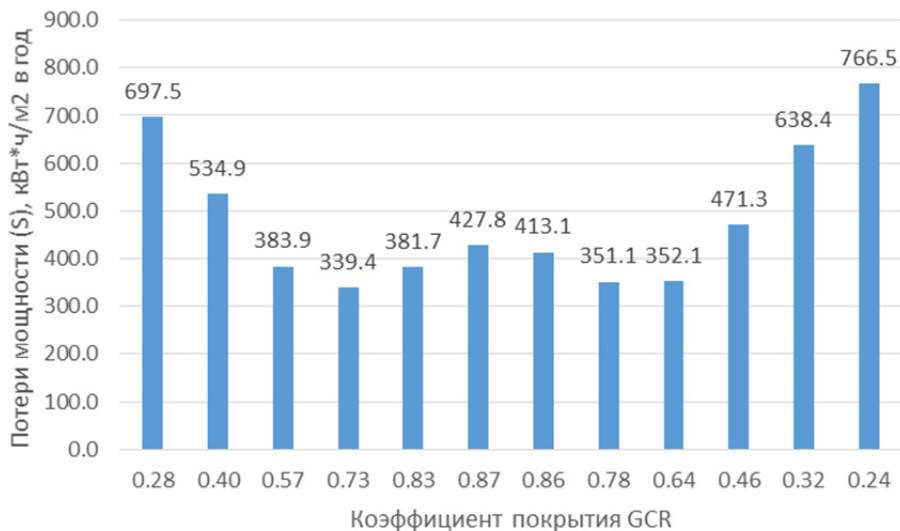


Рис. 8. Сумма потерь генерируемой мощности в год при различных коэффициентах  $GCR$

Как видно из полученных данных, наименьшие потери генерации получают при значении коэффициента покрытия  $GCR$  равном 0,73. Таким образом на каждый метр солнечной батареи необходимо заложить 1,37 м расстояния между рядами или земельный участок, на котором будут раз-

мещаться солнечные батареи, должен быть больше их суммарной площади на 37 %. При этом с каждого квадратного метра в потери в год составят 339,4 кВт · ч.

На основании полученных данных можно выполнить расчет объема генерируемой электроэнергии с единицы площади. Суммарный объем электроэнергии, вырабатываемый с одной солнечной батареи, можно определить по следующему выражению:

$$W_e = \left( \sum_{i=1}^{12} \frac{P_{e,i} \cdot I_{e,i}}{1000} N_i - Los \right) S_e, \quad (12)$$

где  $P_e$  – мощность элемента при стандартных условиях;  $N_i$  – количество дней в месяце;  $Los$  – значение годовых потерь в зависимости от  $GCR$ ;  $S_e$  – площадь элемента.

Для расчета возьмем солнечную батарею CHN100-36M со следующими характеристиками:

- $P_e = 100$  Вт;
- $S_e = 0,648$  м<sup>2</sup>;
- стоимость – 8000 руб.

Для выбранного элемента выработка электроэнергии составит 100,72 кВт · ч в год. При этом максимальная мощность, выдаваемая солнечной батареей, будет колебаться в пределах от 298 до 703 Вт.

### Оценка экономической обоснованности применения СЭС для генерации электроэнергии на территории Пензенской области

В жизненном цикле СЭС существует два типа затрат: капитальные затраты и операционные затраты. Структура капитальных затрат приведена на рис. 9 [10].

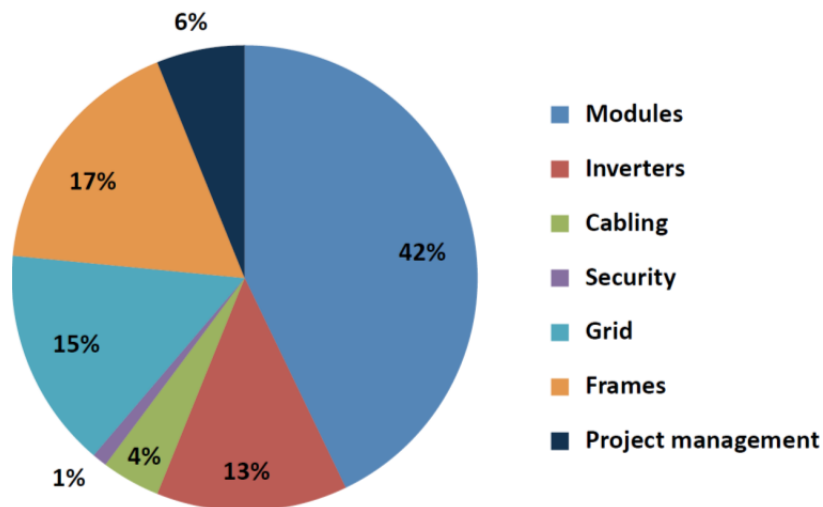


Рис. 9. Структура капитальных затрат СЭС

Операционные затраты составляют в среднем 2,200\$/год на МВт установленной мощности.

При расчете стоимости будем учитывать, что СЭС мощностью 1 МВт будет построена из 3 000 модулей CHN100-36M.

Тогда стоимость СЭС составит

$$C_{сэс} = 8 \cdot 3000 / 0,42 = 57,1 \text{ млн руб.}$$

Годовая выработка электроэнергии составит – 302,2 МВт · ч.

Таким образом, годовая выручка составит:

- при продаже электроэнергии на ОРЭМ составит (1 руб./кВт · ч) – 302,2 тыс. руб.;
- при продаже электроэнергии непосредственно потребителю (3,1 руб./кВт · ч) – 936,8 тыс. руб.

Срок окупаемости СЭС составит

$$T = 57,1 / (0,936 - 0,132) = 71 \text{ год.}$$



При этом срок жизненного цикла солнечных батарей СЭС составляет 25 лет. Для сравнения приведем срок окупаемости подобной СЭС в Германии.

Годовая выручка при продаже электроэнергии непосредственно потребителю (17,5 руб./кВт · ч) составит 5,29 млн руб.

Срок окупаемости СЭС составит

$$T = 57,1 / (5,29 - 0,132) = 11 \text{ лет.}$$

Таким образом, построение СЭС в средней полосе России на данный момент является экономически не обоснованным. Но при этом данные станции в сочетании с ВЭУ [11] могут быть использованы для электроснабжения удаленных районов.

1. Пензенский регион является перспективным с точки зрения внедрения технологии генерации электроэнергии на СЭС, обладая большим значением солнечной радиации, чем некоторые регионы Европы, в которых уже построены СЭС.

2. На территории Пензенской области наиболее перспективным является юго-запад региона, обладающий среднегодовым значением ИРС – 3,36 кВт · ч/м<sup>2</sup> в день.

3. При существующих значениях стоимости солнечных батарей, КПД солнечных батарей, тарифов на электроэнергию построение СЭС на территории Пензенской области является экономически не обоснованным.

### Библиографический список

1. Путилов, В. А. Комплекс имитационных моделей поддержки управления региональной безопасностью / В. А. Путилов, А. В. Маслобоев, В. В. Быстров // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 3 (23). – С. 143–158.
2. Отчеты в рамках РКИК. – URL: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/8108.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/8108.php) (дата обращения: 09.02.2016).
3. Key world energy statistics. International energy agency. – FR : Chirat, 2015. – 81 p.
4. Маслобоев, А. В. Средства поддержки интероперабельности сетевых систем управления региональной безопасностью / А. В. Маслобоев // Надежность и качество сложных систем. – 2020. – № 1 (29). – С. 91–105.
5. Сайт системного оператора Единой энергетической системы. – URL: [http://so-ups.ru/?id=rdu\\_penza](http://so-ups.ru/?id=rdu_penza) (дата обращения: 09.02.2016).
6. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива. Показатели по территориям / под ред. П. П. Безруких. – Москва : ИАЦ Энергия, 2007. – 272 с.
7. Сайт национального аэрокосмического агентства. – URL: [https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES\\_INSOL\\_M](https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES_INSOL_M)
8. Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants. A Project Developer's Guide. – IFC, 2015. – 212 p.
9. Narvarte, L. Tracking and Ground Cover Ratio / L. Narvarte, E. Lorenzo // Progress in photovoltaics: research and applications. – 2008. – Vol. 16. – P. 703–714.
10. Renewable power generation costs in 2014. – IRENA, 2014. – 164 p.
11. Дзензерский, В. А. Принципы построения гибридных ветро-солнечных энергоустановок – ЗНТУ / В. А. Дзензерский, Н. Е. Житник и др. // Электротехника и электроэнергетика. – 2007. – № 1. – С. 67–72

### References

1. Putilov V. A., Masloboev A. V., Bystrov V. V. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2018, no. 3 (23), pp. 143–158. [In Russian]
2. *Otchety v ramkakh RKIK* [Reports under the UNFCCC]. Available at: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/8108.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/8108.php) (accessed 09.02.2016). [In Russian]
3. *Key world energy statistics. International energy agency*. FR: Chirat, 2015, 81 p.
4. Masloboev A. V. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2020, no. 1 (29), pp. 91–105. [In Russian]
5. *Sayt sistemnogo operatora Edinoy energeticheskoy sistemy* [Website of the Unified Energy System system operator]. Available at: [http://so-ups.ru/?id=rdu\\_penza](http://so-ups.ru/?id=rdu_penza) (accessed 09.02.2016). [In Russian]
6. *Spravochnik po resursam vozobnovlyaemykh istochnikov energii Rossii i mestnym vidam topliva. Pokazateli po territoriyam* [Reference resources renewable energy sources of Russia and local types of fuel. Figures for the territories]. Ed. by P. P. Bezrukikh. Moscow: IATs Energiya, 2007, 272 p. [In Russian]
7. *Sayt natsional'nogo aerokosmicheskogo agentstva* [Website of the National Aerospace Agency]. Available at: [https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES\\_INSOL\\_M](https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES_INSOL_M) [In Russian]

8. *Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants. A Project Developer's Guide*. IFC, 2015, 212 p.
9. Narvarte L., Lorenzo E. *Progress in photovoltaics: research and applications*. 2008, vol. 16, pp. 703–714.
10. *Renewable power generation costs in 2014*. IRENA, 2014, 164 p.
11. Dzenzerskiy V. A., Zhitnik N. E. et al. *Elektrotehnika i elektroenergetika* [Electrical engineering and electric power industry]. 2007, no. 1, pp. 67–72. [In Russian]

**Елинов Дмитрий Александрович**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра электроэнергетики и электротехники,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: edorm86a@gmail.com

**Бирюкова Ольга Вячеславовна**

старший преподаватель,  
Московский государственный университет  
технологий и управления им. К. Г. Разумовского  
(Пензенский филиал)  
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 6)  
E-mail: fekla\_06@list.ru

**Чернецов Михаил Владимирович**

кандидат технических наук,  
заведующий кафедрой технического  
управления качеством,  
Пензенский государственный  
технологический университет  
(Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ ул. Гагарина, 1а/11)  
E-mail: kafedratuk@yandex.ru

**Лапшин Эдуард Владимирович**

доктор технических наук, профессор,  
кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: kipra@pnzgu.ru

**Тюрина Лилия Александровна**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра техносферной безопасности,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: nvershinin@yandex.ru

**Elinov Dmitriy Aleksandrovich**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of power engineering  
and electrical engineering,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Biryukova Ol'ga Vyacheslavovna**

senior lecturer,  
Moscow State University of Technology  
and Management named after K. G. Razumovsky  
(Penza branch)  
(6 Volodarsky street, Penza, Russia)

**Chernetsov Mikhail Vladimirovich**

candidate of technical sciences,  
head of sub-department of technical  
quality management,  
Penza State Technological University  
(1a / 11 Baidukova avenue / Gagarin street,  
Penza, Russia)

**Lapshin Eduard Vladimirovich**

doctor of technical sciences, professor,  
sub-department of radio equipment design  
and production,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Tyurina Lilia Alexandrovna**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of technosphere safety,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Образец цитирования:**

Оценка возможности применения солнечных электростанций для генерации электроэнергии на территории Пензенской области / Д. А. Елинов, О. В. Бирюкова, М. В. Чернецов, Э. В. Лапшин, Л. А. Тюрина // Надежность и качество сложных систем. – 2020. – № 4 (32). – С. 139–148. – DOI 10.21685/2307-4205-2020-4-15.