



Центр энергоэффективности – XXI век



Низкоуглеродные технологии в России

Нынешний статус и перспективы

Москва, июнь 2023 г.

Авторы:**Игорь Башмаков**

Генеральный директор
ЦЭНЭФ – XXI

**Владимир Башмаков**

Юрисконсульт
ЦЭНЭФ – XXI

**Константин Борисов**

Ведущий исследователь
ЦЭНЭФ – XXI

**Максим Дзедзичек**

Ведущий исследователь
ЦЭНЭФ – XXI

**Алексей Лунин**

Ведущий исследователь
ЦЭНЭФ – XXI

**Олег Лебедев**

Исследователь
ЦЭНЭФ – XXI

**Анна Мышак**

Ведущий исследователь
ЦЭНЭФ – XXI



Содержание



ВВЕДЕНИЕ	5
1 РЕЗЮМЕ	9
1.1 МГЭИК ПРЕДУПРЕЖДЛ: КЛИМАТ НЕ ЖДЕТ И МЕНЯЕТСЯ ОЧЕНЬ ОПАСНО	10
1.2 ИНСТРУМЕНТЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА	11
1.3 КЛЮЧЕВЫЕ НИЗКОУГЛЕРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	11
1.4 СТРАТЕГИЯ НИЗКОУГЛЕРОДНОГО РАЗВИТИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИОРИТЕТЫ	12
1.5 НИЗКОУГЛЕРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРИОРИТЕТЫ ПОЛИТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА	12
1.6 НЫНЕШНИЕ МАСШТАБЫ ВНЕДРЕНИЯ КОУГЛЕРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И УРОВЕНЬ ИХ ЛОКАЛИЗАЦИИ	13
1.7 ЦЕЛЕВЫЕ ИНДИКАТОРЫ ДЛЯ СЕКТОРОВ И ТЕХНОЛОГИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ДОСТИЖЕНИЕ УГЛЕРОДНОЙ НЕЙТРАЛЬНОСТИ	20
1.8 ТРИ РАЗРЫВА. НЕОБХОДИМЫЕ МАСШТАБЫ ВНЕДРЕНИЯ, ОЖИДАЕМЫЕ УРОВНИ ПРОИЗВОДСТВА И ЛОКАЛИЗАЦИИ НИЗКОУГЛЕРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	25
1.9 РАЗРЫВ МАСШТАБА. NOTHING-TO-SEE VIEW	31
2 ИНСТРУМЕНТЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА	34
3 КЛЮЧЕВЫЕ НИЗКОУГЛЕРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	39
3.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	40
3.2 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	43
3.3 ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	44
3.4 ТРАНСПОРТ	47
3.5 ЗДАНИЯ	50
3.6 ВОДОРОД	53
3.7 ССUS	54
3.8 УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ	55
3.9 СЕЛЬСКОЕ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО	55
3.10 ПЕРЕЧЕНЬ РАССМАТРИВАЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	57
4 СТРАТЕГИЯ НИЗКОУГЛЕРОДНОГО РАЗВИТИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИОРИТЕТЫ	59
5 НИЗКОУГЛЕРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРИОРИТЕТЫ ПОЛИТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА	63
6 НЫНЕШНИЕ МАСШТАБЫ ВНЕДРЕНИЯ НИЗКОУГЛЕРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И УРОВЕНЬ ИХ ЛОКАЛИЗАЦИИ	70
6.1 ЭЛЕКТРО-И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА	71
6.2 ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	79
6.2.1 Черная металлургия	79
6.2.2 Производство алюминия	83
6.2.3 Цементная промышленность	86
6.2.4 Производство аммиака	92
6.3 ТРАНСПОРТ	95
6.4 ЗДАНИЯ	101
6.5 ВОДОРОД	110
6.6 ССUS	114
7 ЦЕЛЕВЫЕ ИНДИКАТОРЫ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ УГЛЕРОДНОЙ НЕЙТРАЛЬНОСТИ	118
7.1 ОЦЕНКА ЦЕЛЕВЫХ ИНДИКАТОРОВ	119
7.2 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	121
7.3 ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	125
7.4 ТРАНСПОРТ	129
7.5 ЗДАНИЯ	136

7.6	Водород	144
7.7	CCUS.....	149

8 ТРИ РАЗРЫВА. НЕОБХОДИМЫЕ МАСШТАБЫ ВНЕДРЕНИЯ, ОЖИДАЕМЫЕ УРОВНИ ПРОИЗВОДСТВА И ЛОКАЛИЗАЦИИ НИЗКОУГЛЕРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 153

8.1	ТРИ РАЗРЫВА	154
8.2	НИЗКОУГЛЕРОДНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	154
8.3	ПРОМЫШЛЕННОСТЬ.....	159
8.4	ТРАНСПОРТ	162
8.5	ЗДАНИЯ.....	164
8.6	ВОДОРОД	168
8.7	CCUS.....	170
8.8	РАЗРЫВ МАСШТАБА. NOTHING-TO-SEE VIEW	170

Введение

МГЭИК предупредил. Климат не ждет и меняется очень опасно. Потепление по сравнению с доиндустриальным периодом уже составило 1,2 °С, и таким образом человечество уже пересекло границу *безопасного и справедливого* изменения климата – 1 °С (*safe and just Earth System Boundaries (ESBs) for climate*).¹ Обязательства по декарбонизации экономики взяты многими странами сравнительно недавно. Однако в оценочных Докладах МГЭИК, которые публикуются на протяжении последних 30 лет, звучали как предостережения об опасностях и рисках, которые несет глобальное потепление, так и предложения о широком наборе низкоуглеродных технологий и мер политики по их продвижению, способных затормозить потепление.

Пять реакций на предупреждения. На эти доклады было пять основных реакций. Некоторые страны повернулись к будущему лицом и стали активно развивать и продвигать эти технологии, создавать для них новые рынки (ЕС и Великобритания). Другие вставали на этот путь, а потом в зависимости от смены политической власти, то пытались уйти с него, то возвращались, теряя на этих колебаниях драгоценное время (США). Третьи вовремя поняли, что в перспективе рынки низкоуглеродных технологий – это билет в будущее на лучшие места на рынках с триллионными масштабами продаж. Они стали стараться не просто шагать в ногу со временем, но даже пытаться обогнать время, создавая масштабные локальные рынки для получения эффекта экономии на масштабах, чтобы доминировать на динамично растущих глобальных рынках низкоуглеродных технологий (Китай). Четвертые (Россия), одурманенные мифами прошлого,² долго старались смотреть в будущее, повернувшись к нему спиной, с иронической усмешкой и пренебрежением комментируя действия первых трех в надежде, что эпоха обожаемого ими органического топлива никогда не кончится, что на острие нефтяной и газовой иглы удастся еще долго и виртуозно балансировать и, более того, орудовать этим острием для достижения своих политических амбиций. Пятые, коих большинство, были бы рады применять низкоуглеродные технологии, но жестко ограничены в ресурсах, прежде всего в финансовых. Парижское соглашение и последовавшие за ним 8 лет стали вехами для оценки правильности выбранного странами курса.

На пути декарбонизации мир добился пока мало, но зато поверил в себя. За последние 30 лет глобальной энергетической системе не удалось пройти через настоящую трансформацию и сократить выбросы ПГ.³ Однако есть и очевидный прогресс: кардинально изменился уровень климатических амбиций и их восприятие. Ожидается, что нынешний энергопереход изменит глобальную экономику и энергетический ландшафт. Сегодня уже

¹ Rockström J., J. Gupta, D. Qin, S.J. Lade, J.F. Abrams, L.S. Andersen, D. I. Armstrong McKay, X. Bai, G. Bala, S.E. Bunn, D. Ciobanu, F. DeClerck, K. Ebi, L. Gifford, C. Gordon, S. Hasan, N. Kanie, T. M. Lenton, S. Loriani, D.M. Liverman, A. Mohamed, N. Nakicenovic, D. Obura, D. Ospina, K. Prodani, C. Rammelt, B. Sakschewski, J. Scholtens, B. Stewart-Koster, T. Tharammal, D. van Vuuren, P. H. Verburg, R. Winkelmann, C. Zimm, E.M. Bennett, S. Bringezu, W. Broadgate, P.A. Green, L. Huang, L. Jacobson, C. Ndehedehe, S. Pedde, J. Rocha, M. Scheffer, L. Schulte-Uebbing, W. de Vries, C. Xiao, C. Xu, X. Xu, N. Zafra-Calvo & X. Zhang. 2023. Safe and just Earth system boundaries. *Nature* (2023). [Safe and just Earth system boundaries | Nature](https://doi.org/10.1038/s41586-023-0362-4).

² Башмаков И.А. Энергетика мира: мифы прошлого и уроки будущего. *Вопросы экономики*. 2018;(4):49-75. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2018-4-49-75>.

³ Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J. G. J., Wiedenhofer, D., Mattioli, G., Khourdajie, A. A., House, J., Pachauri, S., Figueroa, M. J., Saheb, Y., Slade, R., Hubacek, K., Sun, L., Ribeiro, S. K., Khennas, S., de la Rue du Can, S., L. Chapungu, S.J. Davis, I. Bashmakov, H. Dai, S. Dhakal, X. Tan, Y. Geng, B. Gu and Minx, J. C. (2021). A Review of Trends and Drivers of Greenhouse Gas Emissions by Sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16(7), [073005]. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abec4e>; Башмаков И.А. Прогнозы развития энергетики мира 30 лет спустя: проверка прошлым уроков будущего. *Вопросы экономики*. 2022;(5):51-78. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2022-5-51-78>.

не кажутся нереализуемыми и безумными «мифами будущего» такие заявления, как: Европа может стать полностью независимой от импорта энергоресурсов; может достичь климатической нейтральности к 2045-2050 годам; может снизить потребность в первичной энергии на 55% к 2050 году и покрыть ее полностью за счет ВИЭ.⁴ Или: Китай может стать углероднонейтральным в 2060 году. Энергетический переход становится универсальным, интенсивным и значительным (существенные изменения технологической базы); неравномерным, рискованным, но богатым на возможности.⁵

Даже оптимисты оказались пессимистами. Последние 30 лет, и особенно последние 10 лет, показали, что многие даже довольно оптимистичные для своего времени прогнозы развития низкоуглеродных технологий на поверку оказались пессимистичными. Мало кто 10-20 лет назад мог поверить, что установленная электрическая мощность источников ВИЭ в Китае в 2023 году сравняется с мощностью угольных ТЭС; что к 2025 году выработка на них превысит треть всей генерации в этой стране; что в 2023 году в мире будет введено 440 ГВт мощностей ВИЭ, т.е. в 2 раза больше мощности всех генерирующих источников России; что в первом квартале 2023 года в Германии более 50% электроэнергии будет выработано на ВИЭ; что во многих странах генерация на ВИЭ станет дешевле генерации на топливных электростанциях; что в Китае в 2022 году будет продано более 14 млн электромобилей; что в Швеции запустят производство стали с использованием водорода вместо кокса в качестве восстановителя; что в Норвегии 60% зданий, а в Швеции и Финляндии – более 40%, будут оснащены тепловыми насосами.

В фокусе – разрывы в амбициях и масштабах применения низкоуглеродных технологий. По состоянию на 23 сентября 2022 года 88 стран-членов РКИК ООН приняли долгосрочные обязательства по достижению чистого нулевого уровня выбросов CO₂, охватывающие 79% глобальной эмиссии ПГ. По данным Net Zero Tracker, на 23 июня 2023 года уже 149 стран в той или иной форме объявили об углеродной нейтральности.⁶ На них приходится 88% выбросов ПГ, 92% мирового ВВП и 89% населения. Кроме того, такие обязательства приняли 147 регионов в разных странах (включая Сахалин), 252 города и 937 крупных компаний. 19 из 20 членов Двдцатки, включая Россию, взяли на себя обязательства по достижению чистых нулевых выбросов. Обязательства по углеродной нейтральности приняты. Теперь формируются системы мониторинга их выполнения на национальном и наднациональном уровнях. Мониторинг прогресса ведется МЭА (Tracking Clean Energy Progress⁷), ЮНЕП ООН (Tracking mitigation progress),⁸ и другими организациями, включая Climate action tracker⁹ и Climate policy initiative.¹⁰

По итогам такого мониторинга на первый план вышли три разрыва:

- **технологический разрыв** – нехватка экономически доступных низкоуглеродных технологий с высоким уровнем технологической готовности;

⁴ Climate neutrality, Energy security and Sustainability: A pathway to bridge the gap through Sufficiency, Efficiency and Renewables. FINAL REPORT. Executive summary. June 2023. CLEVER: a Collaborative Low Energy Vision for the European Region.

⁵ McKinsey Global Institute. 2022. The net-zero transition. What it would cost, what it could bring. January 2022.

⁶ [Net Zero Tracker | Welcome.](#)

⁷ [Tracking Clean Energy Progress – Topics - IEA.](#)

⁸ [Property:Tracking mitigation progress \(quantitative\) - Climate Initiatives Platform](#); Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП), 2022. Доклад о разрыве в уровнях выбросов 2022 года: закрывающееся окно — климатический кризис требует скорейшего преобразования общества. Найроби. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>.

⁹ <https://climateactiontracker.org>.

¹⁰ [Climate Policy Initiative - expertise in climate finance and policy analysis.](#)

- **разрыв предложения** – нехватка на рынках технологий, услуг по их установке и эксплуатации в масштабах, позволяющих двигаться по намеченным траекториям углеродной нейтральности;
- **разрыв локализации** – нехватка самостоятельно производимого оборудования для снижения рисков возникновения перебоев возможных поставок импортного оборудования или рисков монопольного диктата цен на этих рынках доминирующими поставщиками, подобно тому, как это десятилетиями происходит на рынках ископаемого топлива.

Отражение озабоченностей, связанных с этими разрывами, можно проследить в сдвиге акцентов в аналитических и прогнозных материалах, а затем и в политических решениях. МЭА в 2017 и 2020 годах выпустило отчеты *Energy Technology Perspectives 2017* и *Energy Technology Perspectives 2020*, фокусом которых стала оценка адекватности масштабов предложения, технической готовности и экономической доступности низкоуглеродных технологий. В фокусе было масштабирование рынков и стимулирование НИОКР. Была также выявлена роль критических для их производства материалов. В прогнозах МЭА, IRENA, BP, Shell и др. появились разделы, посвященные анализу баланса спроса на эти материалы и их потенциального предложения с выраженной озабоченностью высокой региональной концентрацией их производства в ограниченном числе стран. Эта озабоченность стала отражением попятного движения в процессах глобализации и перебоев с поставками из-за пандемии COVID-19.

После начала военной операции России в Украине на первый план с новой силой после энергетических кризисов 70-х и 80-х годов XX века вышли вопросы энергетической и экономической безопасности. Стало ясно, что на смену зависимости в прошлом и настоящем от импорта нефти из стран ОПЕК+ и газа из России приходит зависимость цепочек поставок низкоуглеродных технологий от импорта уже только из одной страны – Китая. Это нашло свое отражение как в аналитике МЭА,¹¹ IRENA¹² и др., так и в законодательстве США (*Inflation Reduction Act*) и ЕС (*Critical materials Act* и *Net Zero Industry Act*), нацеленном на повышение устойчивости и уровня локализации цепочек поставок. В 2022 году задача достижения технологического суверенитета в кратчайшие сроки была поставлена и в России.

Проверка жизнью показала, что реакция Китая на потребность в декарбонизации оказалась самой эффективной, а России – одной из самых неэффективных. Вопрос – можно ли это исправить и в какой степени? – находится в центре внимания данной работы. В ней решается задача оценки масштабов и перспектив преодоления трех разрывов: технологического, предложения и локализации на горизонте до 2060 года, когда Россия, согласно принятому обязательству, должна достичь углеродной нейтральности. Эта работа является продолжением серии работ ЦЭНЭФ-XXI, посвященных оценке перспектив достижения Россией углеродной нейтральности к 2060 году.¹³

Работа состоит из 8 глав. В первой, по сложившейся в ЦЭНЭФ-XXI традиции, сведены все основные выводы. Во второй описаны инструменты и методы анализа и прогноза. В третьей

¹¹ IEA. 2023. *Energy Technology Perspectives 2023*; IEA. 2023. *The State of Clean Technology Manufacturing. An Energy Technology Perspectives Special Briefing*.

¹² IRENA (2022), *World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

¹³ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichuk, A. Lunin, I. Govor. 2022. *Russia's carbon neutrality: pathways to 2060*. CENEF-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060/>; Башмаков И. Россия на траекториях движения к углеродной нейтральности: три четверки и одна двойка / *Нефтегазовая вертикаль*. – 2022; Башмаков И. Сценарии движения России к углеродной нейтральности. Энергосбережение. № 1, 2023; Башмаков И.А. Внешняя торговля, экономический рост и декарбонизация в России. Долгосрочные перспективы. Москва, апрель 2023 г. https://cenef-xxi.ru/uploads/RUS_Vneshnyaya_torgovlya_ekonomicheskij_rost_Perspektivy_463a2412c5.pdf.

определены ключевые низкоуглеродные технологии. В четвертой и пятой выявлены отобранные в России технологические приоритеты, а также роль низкоуглеродных технологий в отобранных приоритетах политики технологического суверенитета. По итогам проведенного анализа для дальнейшего исследования были отобраны 27 технологий. В главе 6 описано современное состояние их производства и применения в России и планы на ближайшие годы. В главе 7 определены целевые индикаторы масштабов использования и ежегодных вводов этих технологий в электро- и теплоэнергетике, промышленности, на транспорте и в зданиях, необходимые для решения задачи достижения углеродной нейтральности. Глава 8 посвящена оценке масштабов и перспектив преодоления технологического разрыва, разрыва предложения и разрыва локализации. Эти оценки должны послужить базой для целеполагания при разработке стратегических направлений и дорожных карт по декарбонизации отдельных секторов российской экономики.

Игорь Башмаков (введение и главы 1-8). В. Башмаков, К. Борисов, М. Дзедзичек, А. Лунин, О. Лебедев и А. Мышак – главы 6 и 8.

Редактирование текста – Татьяна Шишкина. Оформление – Оксана Ганзюк. Рисунок на обложке – Игорь Башмаков.

Игорь Башмаков

Генеральный директор

ЦЭНЭФ – XXI

Контакты: тел. (499) 120-9209; эл. почта и сайт: cenef@co.ru; <https://cenef-xxi.ru>



Резюме

1.1 МГЭИК предупредил: климат не ждет и меняется очень опасно

Проверка жизнью показала, что реакция Китая на потребность в декарбонизации оказалась самой эффективной, а России – одной из самых неэффективных. Пять реакций на предупреждения МГЭИК:

На пути декарбонизации мир добился пока малого, но зато мы поверили в себя.

Даже оптимисты оказались пессимистами и не верили, что:

В фокусе – «разрывы» в амбициях и масштабах применения низкоуглеродных технологий

- Лицом к будущему – активное развитие и продвижение низкоуглеродных технологий (ЕС, Великобритания).
- Колебания в зависимости от смены власти (США).
- Экспансия на новые рынки низкоуглеродных технологий – создание масштабных локальных рынков и получение эффекта экономии на масштабах для доминирования на глобальных рынках (Китай).
- Смотреть в будущее, повернувшись к нему спиной, в надежде, что эпоха обожаемого органического топлива никогда не кончится (Россия).
- Готовность двигаться в будущее при жесткой ограниченности в ресурсах, в первую очередь, финансовых (развивающиеся страны).
- в Китае в 2023 году мощность ВИЭ сравняется с мощностью угольных ТЭС;
- в мире в 2023 году будет введено 440 ГВт мощностей ВИЭ, что вдвое больше мощности всех генерирующих источников России;
- в первом квартале 2023 года в Германии более 50% электроэнергии будет выработано на ВИЭ;
- во многих странах генерация на ВИЭ станет дешевле генерации на топливных электростанциях;
- в Китае в 2022 году будет продано более 14 млн электромобилей;
- в Швеции запустят производство стали с использованием водорода вместо кокса в качестве восстановителя;
- в Норвегии 60% зданий будут оснащены тепловыми насосами.
- **технологический разрыв** – нехватка экономически доступных низкоуглеродных технологий с высоким уровнем технологической готовности;
- **разрыв предложения** – нехватка на рынках технологий, услуг по их установке и эксплуатации в масштабах, позволяющих двигаться по намеченным траекториям углеродной нейтральности;
- **разрыв локализации** – нехватка самостоятельно производимого оборудования для снижения рисков возникновения перебоев в поставках импортного оборудования или рисков монопольного диктата цен на этих рынках доминирующими поставщиками подобно тому, как это десятилетиями происходит на рынках ископаемого топлива.

1.2 Инструменты анализа и прогноза

- «Облако» моделей ЦЭНЭФ-XXI используется для определения целевых индикаторов для достижения углеродной нейтральности**
- Используется сценарий 4D с поправками 2023 года в рамках работы «Внешняя торговля, экономический рост и декарбонизация в России».¹⁴
 - Определяются масштабы применения и источники поставок низкоуглеродных технологий (по десятилетиям) на перспективу до 2060 года.
 - Определяются потребности в среднегодовых вводах мощностей для обеспечения целевых объемов использования низкоуглеродных технологий.
- Оценка современных масштабов применения и источников поставок низкоуглеродных технологий проведена на основе:**
- использования информационных ресурсов Росстата и ФТС, государственных программ и стратегических документов;
 - широкого поиска информации как в литературе, так и в сети Интернет на сайтах ведущих российских компаний, промышленных ассоциаций и аналитических центров.
- Рассматриваются два-три звена технологической цепочки производства низкоуглеродных технологий, а уровни технологической готовности оцениваются по 11-балльной шкале.

1.3 Ключевые низкоуглеродные технологии

- Под ключевыми низкоуглеродными технологиями имеются в виду те, для которых:**
- потенциал снижения выбросов ПГ сравнительно велик;
 - они могут быть реализованы при приемлемых затратах.
- Во многих случаях низкоуглеродные технологии уже экономически более привлекательны по сравнению с традиционными, поэтому их внедрение не требует дополнительных затрат.
- Важным элементом, определяющим границы анализа, является выбор метрик для описания отдельных низкоуглеродных технологий:**
- Рыночная ниша
 - Затраты на реализацию технологии
 - Уровень технологической готовности
 - Масштабы производства в России
 - Уровень локализации производства
 - Наличие необходимой инфраструктуры
 - Масштабы и источники возможного импорта
 - Перспективы экспорта
- Электроэнергетика:**
- АЭС, ВЭС, СЭС и сетевые системы накопления энергии.
- Промышленность:**
- Одиннадцать технологий в черной и цветной металлургии, цементной и химической промышленности.
- Транспорт:**
- электрификация легковых автомобилей и автобусов, производство электробатарей для автомобильного транспорта; установка зарядных станций.

¹⁴ Башмаков И.А. Внешняя торговля, экономический рост и декарбонизация в России. Долгосрочные перспективы. Москва, апрель 2023 года. https://cenef-xxi.ru/uploads/RUS_Vneshnyaya_torgovlya_ekonomicheskij_rost_Perspektivy_463a2412c5.pdf.

- Здания:** • утепление оболочки зданий, АИТП, тепловые насосы, децентрализованное производство электроэнергии на фотоэлектрических установках, производство тепла на солнечных подогревателях и умный учет.
- Водород:** • производство электролизеров и производство оборудования для транспорта и хранения водорода.
- CCUS** • улавливание CO₂, транспортировка, хранение и использование.

1.4 Стратегия низкоуглеродного развития и технологические приоритеты

- В «Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» нет:**
- оценок необходимых масштабов применения низкоуглеродных технологий;
 - оценок эффектов от их применения;
 - целевых параметров по уровню локализации низкоуглеродного оборудования и технологий.
 - В Стратегии приведен только перечень низкоуглеродных технологий.
 - Многие положения *Плана мероприятий (операционный план) реализации Стратегии социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов* направлены на создание нормативной базы применения этих технологий, а не на их развитие и стимулирование их масштабирования.

1.5 Низкоуглеродные технологии и приоритеты политики технологического суверенитета

- Задача внедрения низкоуглеродных технологий для достижения углеродной нейтральности в 2022 году ушла в тень решения другой задачи – обеспечения технологического суверенитета**
- В последних программных и нормативных документах в составе низкоуглеродных технологий предпочтение отдается развитию АЭС, водородной энергетики, производству электромобилей и систем хранения энергии.
 - В них нет целевых установок в отношении масштабов использования и производства технологий.
 - Четких параметров уровня государственной поддержки для развития этих технологий нет. Решения о ее предоставлении принимаются на основании заключений экспертных организаций или Межведомственной комиссии.

1.6 Нынешние масштабы внедрения коуглеродных технологий и уровень их локализации

НИЗКОУГЛЕРОДНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Уровень технологической готовности – 11

Уровень локализации – 70-100%

Уровень локализации заметно выше, чем в топливной энергетике.

- Масштабы внутреннего рынка существенны только для АЭС и ГЭС.
- ВИЭ в 2020-2022 годах обеспечили 33-57% прироста мощностей.
- ВИЭ вышли на ценовой паритет либо на оптовых рынках электроэнергии (ВЭС), либо на розничных (СЭС).
- Экспорт технологий есть, но его масштабы ограничены.

Главная задача:

- масштабирование использования низкоуглеродных технологий и дальнейшее повышение уровня локализации их производства.

АЭС
Уровень технологической готовности – 11

Уровень локализации – 98-100%

- Объемы ввода в 2015-2022 годах – 930 МВт в год, а выработки в 2022 году – 224 млрд кВт-ч.
- Удельные капитальные вложения для новых блоков на АЭС – 2000-3450 долл./кВт, при строительстве за границей – 4100-7605 долл./кВт.
- Имеется полный набор необходимой инфраструктуры.
- Доля импорта в закупках «Росатома» невелика.
- Лидирующее место в мире по портфелю заказов – на разной стадии строительства находятся 33 энергоблока в 10 странах.

ВЭС
Уровень технологической готовности – 11

Уровень локализации – 55-68%.

Ожидается полная локализация в течение 2-3 лет

- Объемы ежегодного ввода в 2015-2022 годах – 287 МВт. Установленная мощность в 2022 году – 2298 МВт, выработка в 2022 году – 4,2 млрд кВт-ч.
- Ценовой паритет с тепловой генерацией на оптовом рынке.
- Создана вся инфраструктура по производству, монтажу и обслуживанию ВЭС.
- На долю импорта в 2021-2022 годах приходилось примерно 30% комплектующих.
- В 2020 году начался экспорт лопастей для ВЭС. В ДПМ ВИЭ 2.0 установлены целевые показатели экспорта.

- СЭС**
- Объемы ежегодного ввода сетевых СЭС в 2015-2022 годах – 229 МВт, установленная мощность – 2,1 ГВт. Объем выработки в 2022 году – 2,4 млрд кВт-ч.
 - Ценовой паритет с тепловой генерацией на розничных рынках.
 - Создана инфраструктура по производству, монтажу и обслуживанию СЭС.
 - 30% комплектующих импортируется. Эта доля снижается.
- Уровень технологической готовности – 11**
- Уровень локализации – 70%**
- Масштабы производства панелей: 700 МВт в год.**
- С 2018 года солнечные модули и ячейки экспортируются. В ДПМ ВИЭ 2.0 установлены целевые показатели экспорта.
- Ожидается рост до 1,7 ГВт в год.**
- Сетевые системы накопления энергии.**
- Объемы ежегодного ввода в 2015-2022 годах – 2,7 МВт. Потенциальный объем рынка систем накопления энергии в России к 2030 году оценивается в 10–15 ГВт.
 - Инфраструктура для производства сетевых накопителей энергии, их эксплуатации и обслуживания создается.
 - В России не выпускается необходимое литиевое сырьё. В 2030 году для сетевых систем накопления энергии потребуется 27 т лития, а в 2060 году – 272 т. До конца 2027 года ожидается полная локализация.
 - Планов на экспорт нет.
- Уровень технологической готовности – 11**
- Уровень локализации – высокий, однако весь литий импортируется**

- ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**
- Даже для НДТ технологий низкий уровень локализации (за исключением алюминия) – 30-85%.
 - Опыта применения технологий с CCUS и водородом нет. Нет и производства соответствующего оборудования.
- Уровень технологической готовности – 5-11**
- Уровень локализации – 0-100%**
- Уровень локализации заметно ниже, чем в секторе низкоуглеродных энергетических систем.**
- Главные задачи:**
- реализовать большой потенциал по использованию НДТ (ВАТ) технологий до 2030 года,
 - затем на рынок должны выходить технологии с низким уровнем технологической готовности – водород и CCUS.

- Производство стали в электродуговых печах:**
- Доля выплавки стали в электродуговых печах – 35%, рост до 100% к 2050 году. На 2024-2026 годы поставлена задача довести уровень локализации до 80%.
 - Есть вся необходимая инфраструктура для производства и использования электродуговых и индукционных печей.
 - Необходимо импортировать часть оборудования. Источником поставок может служить Китай.
 - Планов на экспорт нет.
- Уровень технологической готовности – 11**
- Уровень локализации – 60%**
- Производство ПВЖ (DRI) с CCUS**
- В настоящее время не применяется.
 - Инфраструктура отсутствует.
 - Масштабы импорта определяются уровнем прироста мощностей.
- Уровень технологической готовности – 9**

- Уровень локализации – 0%**

 - Планов на экспорт нет.
- Производство ПВЖ (DRI) с использованием водорода.**

 - В настоящее время не применяется.
 - Инфраструктура для хранения и транспорта водорода отсутствует.
- Уровень технологической готовности – 5**

 - Масштабы импорта определяются уровнем прироста мощностей.
- Уровень локализации – 0%**

 - Планов на экспорт нет.
- Алюминий – предварительно обожженные аноды.**

 - Применяется для выплавки 14% первичного алюминия.
 - Создается инфраструктура для использования технологии обожженных анодов.
- Уровень технологической готовности – 9**

 - В 2024-2026 годах планируется повысить локализацию до 60-100%.
- Уровень локализации – 40-85%**

 - Планов на экспорт нет.
- Алюминий – инертные аноды**

 - В 2022 году было произведено 3960 т алюминия на опытной площадке Красноярского алюминиевого завода.
 - Создается инфраструктура для использования технологии инертных анодов.
- Уровень технологической готовности – 9**

 - Планов на экспорт нет.
- Уровень локализации – 100%**

 - Планов на экспорт нет.
- Энергосберегающие способы производства цемента**

 - Главная проблема перехода на энергосберегающие способы производств цемента – критическая зависимость от импортного оборудования.
- Уровень технологической готовности – 11**

 - На 2023-2027 годы поставлена задача снизить зависимость до 15-20%, а на 2028-2035 годы – до 5-10%.
- Уровень локализации – 30%**

 - Вся необходимая инфраструктура для применения технологии есть.
- Снижение соотношения «клинкер-цемент»**

 - В 2020-2022 годах клинкер-фактор был равен 89-91%.
 - Добавки позволяют заменить до 40-50% клинкера.
- Уровень технологической готовности – 11**

 - Вся необходимая инфраструктура для применения технологии есть.
- Нет зависимости от импорта добавок**

 - Импорт минеральных добавок не предполагается.
 - Экспорт минеральных добавок не предполагается.
- Повышение доли альтернативного топлива в производстве цемента**

 - В 2010–2022 годах доля альтернативного топлива увеличилась с 0,2 до 3%.
- Уровень технологической готовности – 11**

 - В 2022 году дефицит технологических мощностей по переработке отходов и производству альтернативного топлива оценивается в 88-95%.
 - Нет зависимости от импорта альтернативного топлива.
 - Экспорт альтернативного топлива не предполагается.
- Производство цемента с CCUS**

 - В настоящее время не применяется.
 - Инфраструктура отсутствует.
- Уровень технологической готовности – 7**

 - Масштабы импорта определяются уровнем прироста мощностей.
- Уровень локализации – 0%**

 - Планов на экспорт нет.

- Производство аммиака на CCUS**
- Целевой показатель локализации при производстве аммиака по традиционной технологии – 75% на 2035 год.
 - Существующие схемы CCUS при производстве карбамида будут дополнены производством аммиака на основе паровой конверсии метана с CCUS.
 - Инфраструктура для масштабного производства, хранения и транспортировки аммиака в России создана.
- Уровень технологической готовности – 7-8**
- Уровень локализации – 0%**
- Использование «зеленого» водорода при производстве аммиака**
- Технология использовалась еще в начале XX века, но затем из-за появления дешевого газа ее использование практически прекратилось.
 - Инфраструктура для масштабного производства, хранения и транспортировки аммиака в России создана, а для водорода – нет.
- Уровень технологической готовности – 7-8**
- Уровень локализации – 0%**

ТРАНСПОРТ

Уровень технологической готовности – 9-11

Уровень локализации – менее 25%

- Парк электромобилей и электробусов начал быстро расти.
- Электромобили и электробусы до 2040 года выходят на ценовой паритет по стоимости владения с автомобильным транспортом на ДВС.
- Инфраструктура динамично создается.

Главная задача:

- Повышение уровня локализации производства электромобилей за счет организации собственного производства лития.

Электромобили

Уровень технологической готовности – 9

Уровень локализации – низкий

- В начале 2023 года доля электромобилей в продажах новых легковых автомобилей в России достигла 1%.
- К 2040 году электромобили выйдут на паритет по стоимости владения легковым автомобилем с ДВС, а затем станут дешевле.
- Зарядная инфраструктура быстро создается.
- На импорт электромобилей приходится почти весь прирост их парка, а география импорта резко сдвинулась в сторону Китая.
- Есть планы по экспорту.

Электробусы

Уровень технологической готовности – 10

Уровень локализации – 25-40%

- В конце 2022 года парк электробусов в России составлял 1275 штук.
- Практически все электробусы произведены в России.
- Ожидаемый годовой объем производства электробусов в 2023 году – 450-700 единиц.
- Города динамично оснащаются зарядной инфраструктурой.
- Есть планы по экспорту.

- Батареи**
- Инфраструктура для производства батарей создается.
 - В России не выпускается необходимое литиевое сырьё.
 - В 2030 году для электромобилей и электробусов потребуются батареи емкостью 18 ГВт-ч, для которых нужно около 3 тыс. т лития.
- Уровень технологической готовности – 11**
- Уровень локализации – 95%, но весь литий импортируется**
- Зарядные станции**
- В России работают более 7,5 тысячи зарядных станций общего пользования.
 - Необходимая инфраструктура быстро развивается.
 - Большой объем комплектующих – более 75% - импортируется.
 - Есть планы по экспорту.
- Уровень технологической готовности – 10**
- Уровень локализации – менее 25%**

- ЗДАНИЯ**
- До 2040 года новые МКД с низким энергопотреблением и пассивные МКД выходят на паритет по стоимости жизненного цикла со зданиями, соответствующими нынешним требованиям по энергоэффективности.
- Уровень технологической готовности – 9-11**
- Уровень локализации – 20-98%**
- Главные задачи:**
- масштабирование использования технологий утепления и автоматизированного регулирования подачи тепла до 2030 года;
 - повышение уровня локализации производства прочих технологий до 2030 года с последующим активным масштабированием.

- Утеплители**
- В 2017-2021 годах объемы производства утеплителей на территории России составляли 50,5-54,2 млн куб. м¹⁵.
 - В России налажено серийное производство утеплителей из разных материалов, их поставки и монтаж.
 - Есть как импорт, так и экспорт.
 - Экономия тепла в среднем составляет 17% на здание.
 - Экономить («добывать») природный газ в российских зданиях в 3-5 раз дешевле, чем добывать его на Ямале.
- Уровень технологической готовности – 11**
- Уровень локализации – 97-98%**
- Автоматизированное регулирование подачи тепла в здание**
- Масштабы установки АИТП равны в среднем 30 тыс. единиц в год.
 - В России налажено серийное производство АИТП, и имеющиеся мощности способны удовлетворить внутренний спрос.
- Уровень технологической готовности – 11**
- локализации – 60-80%**

¹⁵ <http://www.bestresearch.ru/article/news2017.html>.

- Тепловые насосы**
- В России установлено лишь несколько тысяч тепловых насосов, но налажено серийное производство оборудования, используемого в тепловых насосах.
 - Основной источник импорта – тепловые насосы малой мощности из Китая и комплектующие к ним.
- Уровень технологической готовности – 9**
- Уровень локализации – 20-30%**
- «Умные» приборы учета электроэнергии**
- Сроки обязательного оснащения «умными» приборами учета электроэнергии сдвигаются.
 - Создано почти два десятка предприятий, осуществляющих выпуск интеллектуальных систем учёта.
 - При максимальной возможной локализации стоимость приборовкратно возрастает.
- Уровень технологической готовности – 11**
- Уровень локализации – менее 40%**
- Солнечные подогреватели**
- Российские компании собирают продукцию из импортных комплектующих.
 - Доля России в мировом производстве тепловой энергии на солнечных коллекторах – 0,002%.
 - Ежегодно устанавливается 4 МВт. Нужно 140-150 МВт в 2030 году и 1700-1800 МВт в 2060 году.
 - В 2021 году – импорт 2878 шт. солнечных коллекторов.
 - Появились и динамично развиваются системы солнечной когенерации.
- Уровень технологической готовности – 11**
- Уровень локализации – невысокий**
- Фотоэлектрические панели для децентрализованного электроснабжения**
- Нынешняя рыночная ниша сегмента распределенной и микрогенерации – 250-300 млн кВт-ч (125-230 МВт).
 - В США их суммарная мощность на жилых зданиях превысила 10 ГВт, а число достигло 3 млн.
 - Выходит на ценовой паритет с сетевой электроэнергией.
 - Инфраструктура динамично создается.
 - Основная страна-поставщик – Китай. Импорт из Китая в 2022 году составил 20 МВт.
- Уровень технологической готовности – 10**
- Уровень локализации – 70%**

<p>ВОДОРОД</p> <p>Уровень технологической готовности – 8-9</p> <p>Уровень локализации – 100% по водороду, но очень низкий по электролизерам</p>	<ul style="list-style-type: none"> • В России только начинается создание инфраструктуры для производства и использования водорода за пределами нефтепереработки и нефтегазохимии. • Появляются отечественные разработки. • Первоначальные планы по производству и экспорту водорода на порядок снижены. <p>Главная задача:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Создать серийное производство электролизеров
<p>Водород</p> <p>Уровень технологической готовности – 8-9</p> <p>Уровень локализации – 100%</p>	<ul style="list-style-type: none"> • В 2021-2022 годах производилось около 2,4 млрд м³ водорода, или 0,21-0,22 млн т, или 0,2% мирового производства. • В России только начинается создание инфраструктуры для производства и использования водорода за пределами нефтепереработки и нефтегазохимии. • Эйфория прошла, часть потенциальных рынков закрылась, и планы по экспорту водорода на порядок снижены.
<p>Электролизеры</p> <p>Уровень технологической готовности – 8-9</p> <p>Уровень локализации – низкий</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Установленная мощность электролизеров равна 25 МВт, или 0,2% от мировой мощности в 11 ГВт. • До 2022 года водородные электролизеры поставлялись в нашу страну в основном из США, Китая, Бельгии, Италии. После введения санкций компании западных стран перестали продавать оборудование и оказывать сервисную поддержку. • Появляются отечественные разработки и активно создается серийное производство электролизеров. • Планы по экспорту электролизеров существуют только для далекой перспективы.
<p>CCUS</p> <p>Уровень технологической готовности – 4-9</p> <p>Уровень локализации – очень низкий</p> <p>Как и в мире в целом, в России рынок CCUS только зарождается.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • По данным Росстата, в 2022 году в России произведено 1,4 млн т CO₂. Кроме того, в процессах производства аммиака было захвачено и использовано на производство карбамида еще 6,9 млн т. • Оценки затрат на реализацию технологии очень разнятся, поскольку эмпирических данных крайне мало. • В России технологии CCUS в основном находятся на стадии планирования и экспериментов. • Россия обладает огромным потенциалом захоронения CO₂. Оценки варьируют от 10 до 160 ГтCO₂. <p>Главная задача:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Запуск пилотных проектов до 2030 года и подготовка почвы для их последующего тиражирования.

1.7 Целевые индикаторы для секторов и технологий, обеспечивающие достижение углеродной нейтральности

Целевые объемы выработки электроэнергии и вклада отдельных источников генерации

	2021	2030	2040	2050	2060		
Потребление первичной энергии на нужды генерации электроэнергии, млн туг	301	286	x0,95	323	372	401	x1,3
Выработка электроэнергии, млрд кВт·ч	1159	1130	x0,97	1296	1540	1723	x1,5
Доля электроэнергии в конечном потреблении энергии	14%	15%	x1,1	18%	24%	29%	x2
Доля нетопливных источников	39%	42%	x1,1	52%	67%	76%	x2
Доля ВИЭ	19%	22%	x1	25%	34%	42%	2x
Доля переменных ВИЭ	0,6%	2%	x4	7%	17%	27%	48x
Доля ВЭС	0,3%	1,4%	x4,5	4,6%	10,6%	15,4%	48x
Доля СЭС	0,2%	0,7%	x3	2,6%	6,7%	11,2%	49x
Доля ГеоТЭС	0,04%	0,08%	x2	0,08%	0,08%	0,07%	2x
Доля ГЭС	19%	19%	x1	17%	16%	15%	0,8x
Доля БиотЭС	0,2%	0,2%	x1	0,3%	0,3%	0,4%	1,7x
Доля АЭС	19%	20%	x1,1	27%	33%	34%	1,8x
Системы хранения энергии тыс. кВт·ч	22	169	x7	566	1 116	1 700	x77
Углеродоемкость электроэнергии, гСО ₂ /кВт·ч	324	282	x0,9	207	121	61	x0,2

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Целевые индикаторы для промышленности

	2021	2030		2040	2050	2060	
Потребление конечной энергии, млн тт	276	245	x0,9	207	182	162	x0,6
Доля электроэнергии в потреблении конечной энергии			x1,1				x2,2
Выбросы CO ₂ , млн т	340	244	x0,7	131	82	54	x0,2
Производство стали, млн т	71	78	x1,1	80	74	70	x1
Доля выплавки стали в электродуговых печах			x1,5				x3
Производство железа прямого восстановления (DRI), млн т	8	18	x1	37	45	47	2x
в т.ч. с использованием водорода				5	12	13	∞
природный газ с CCUS				5	11	12	∞
Производство алюминия первичного, млн т	3,7	3,7	x1	3,7	4,3	5,0	x1,4
Доля технологии предварительно обожженных анодов							∞
Доля технологии «инертных» анодов			x60				x490
Производство цемента	61	75	x1,2	81	83	83	x1,4
Доля сухого способа			x1,2				x1,7
Клинкер-фактор			x0,9				x0,7
Производство аммиака	17	14	x0,8	18	22	26	x1,5
в т.ч. с использованием водорода				0	2%	4%	∞
природный газ с CCUS				0	22%	43%	∞

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Целевые индикаторы для транспорта

	2021	2030		2040	2050	2060	
Потребление конечной энергии, млн тунт	135	101	х0,7	79	58	42	х0,3
Доля электроэнергии в потреблении конечной энергии	8%	9%	х1,1	15%	23%	38%	х4,8
Выбросы CO ₂ , млн т	236	172	х0,7	125	81	46	х0,2
Грузооборот, млрд т-км	5701	5107	х0,9	4882	4083	3492	х0,6
Пассажирооборот, млрд пасс-км	1327	1198	х0,9	1238	1241	1194	х0,9
Доля автотранспорта в грузообороте	5%	5%	х1,5	4%	5%	5%	х3
Доля автотранспорта в пассажирообороте	51%	46%	х0,8	41%	37%	32%	х0,6
Парк легковых автомобилей, млн шт.	50	41	х0,9	37	32	27	х0,5
Доля электромобилей	0,03%	6%	х200	22%	37%	53%	х1767
Парк автобусов, тыс. шт.	844	760	х0,9	797	811	792	х0,9
Доля электробусов	0,003%	4%	х1300	26%	56%	74%	х26667
Емкость электробатарей для автомобильного транспорта, ГВт-ч	2	128	х64	410	637	765	х383
Число зарядных станций (10 зарядных точек - портов на 1 станцию)	208	25473	х0,9	54845	61363	76049	х0,9

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Целевые индикаторы для жилых зданий

	2021	2030		2040	2050	2060	
Потребление конечной энергии, млн тунт	153	141	x0,9	132	126	122	x0,8
Доля электроэнергии в потреблении конечной энергии	14%	18%	x1	19%	20%	24%	x1,1
Прямые и косвенные выбросы CO ₂ , млн т	315	240	x0,8	207	179	139	x0,4
Средний расход энергии на нужды отопления, кВт-ч/м ² /год	204	150	x0,7	129	114	94	x0,5
Средний расход энергии на нужды ГВС, кВт-ч/м ² /год	34	18	x0,5	13	11	11	x0,3
Средний расход энергии на прочие нужды, кВт-ч/м ² /год	66	53	x0,8	42	34	30	x0,5
Доля МКД с классами энергоэффективности А++	0,1%	0,4%	x4	23%	45%	70%	x700
Доля МКД с энергоэффективным капитальным ремонтом	0,1%	2,0%	x20	2,0%	2,0%	2,0%	x20
Доля МКД, оснащенных АУУ и АИТП	14%	43%	x3	65%	84%	99%	x7
Производство тепла на тепловых насосах, млн Гкал	0,2	2,6	x13	9,6	27,0	76,6	x383
Производство тепла на солнечных подогревателях, млн Гкал	0,1	2,0	x20	4,5	8,9	18,6	x186
Производство электроэнергии в зданиях, млрд кВт-ч	0,002	0,15	x75	7,6	20,6	39,5	x19750
Доля умного учета электроэнергии	0,1%	99%	x1000	99%	99%	99%	x1000

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Целевые индикаторы для водорода (тыс. т)

	2021	2030	2040	2050	2060	
Производство водорода	174	366	659	974	1289	x7,4
Производство «голубого» водорода*	174	358	630	888	1010	x5,8
Производство «бирюзового» водорода		4	8	19	37	
Производство «желтого» водорода		4	9	22	55	
Производство «зеленого» водорода		4	12	45	186	
Доля CCUS для «голубого» водорода						
Экспорт		123	312	500	688	
ПВЖ и ГБЖ		0	64,5	149	159	
Аммиак		0	0,0	59	180	
Нефтепереработка	174	172	174	172	127	x0,7

* включая водород как побочный продукт нефтепереработки.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Целевые индикаторы для системы CCUS (млн т)

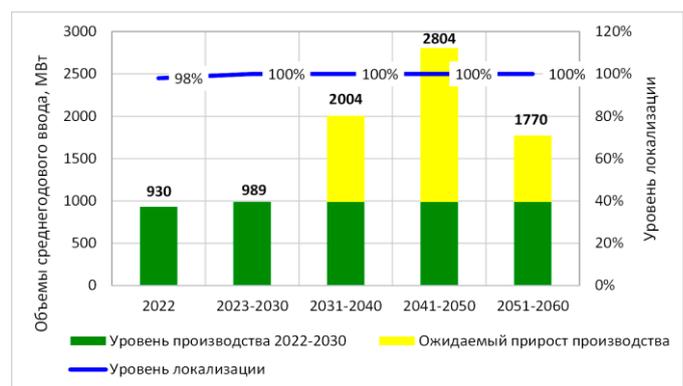
	2021	2030	2040	2050	2060
Улавливание CO ₂			9,0	31,9	52,9
электроэнергетика			1,0	2,7	3,6
производство стали			1,1	2,2	2,2
производство цемента			4,9	11,5	16,2
производство аммиака			0,0	10,7	22,8
производство водорода			1,9	4,9	8,0
Использование CO ₂	6,6	6,5	8,0	9,3	10,7
Эффект губки	20,3	22,4	25,3	27,9	30,1

* Выбросы при производстве аммиака даны с учетом использования CO₂ при производстве мочевины, которое показано в строке «Использование CO₂».

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

1.8 Три разрыва. Необходимые масштабы внедрения, ожидаемые уровни производства и локализации низкоуглеродных технологий

АЭС. Полное и независимое обеспечение потребности в строительстве АЭС. Ядерное топливо российского производства полностью обеспечивает реакторные потребности России. Ведутся переговоры с иностранными заказчиками по строительству 20 АЭС.



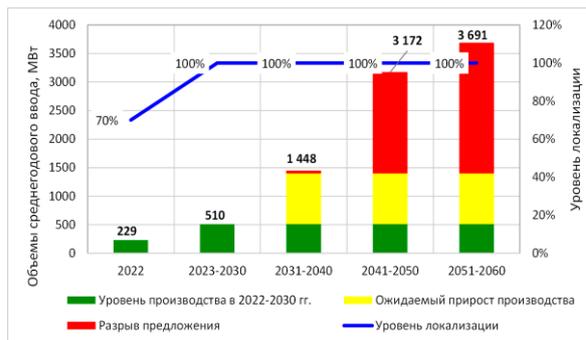
Среднегодовой вводы мощностей АЭС и источники их покрытия

ВЭС. Ожидается преодоление технологического разрыва к 2027 году и достижение уровня локализации около 100% к 2027 году.
Разрыв предложения в 2060 году – 2,9 ГВт.
Имеются запросы к России на создание ветромощностей от Вьетнама, Мьянмы, Турции, Евразии и СНГ.



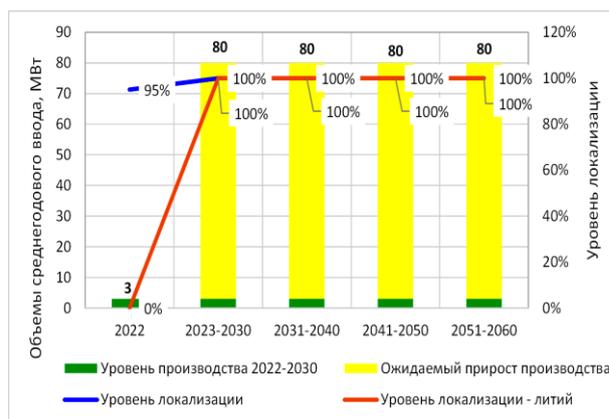
Среднегодовые вводы мощностей ВЭС и источники их покрытия

СЭС. Технологического разрыва нет.
Уровень локализации близок к 100%, но к 2060 году существует разрыв предложения на уровне 2,2 ГВт.
Поставки продукции широкого спектра уже идут и в Европу, и в Азию (в основном в Казахстан и Японию).



Среднегодовые вводы мощностей СЭС и источники их покрытия

Системы накопления энергии (СНЭ).
Нет достаточного понимания реальной потребности в СНЭ для российского рынка.
С учетом строящихся производств будет достаточно мощностей для внедрения СНЭ, но за эти мощности будут конкурировать производители батарей для электромобилей, а их загрузка зависит от устойчивости поставок лития на российский рынок.



Среднегодовые вводы мощностей СНЭ и источники их покрытия

Электросталеплавильное производство. Технологического разрыва нет. Уровень локализации – 60%. К 2026 году ожидается его рост до 80%.
Разрыв предложения составляет 1,1 Мт в год в 2031-2040 годах и растет до 2,2 Мт/год к 2050 году.



Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: электросталеплавильное производство

Производство цемента сухим и комбинированными способами.
Технологического разрыва нет.
Уровень локализации – 30%, но к 2027 году ожидается рост до 80%, а к 2035 году – до 92-100%.
Разрыв предложения составляет 0,5 Мт в год в 2030 году и сокращается до 0,2 Мт/год к 2040 году.

Производство аммиака.
Технологического разрыва нет.
В 2022 году уровень локализации равен 40%, но к 2040 году ожидается рост до 75%.
Разрыв предложения – 0,2-0,3 Мт ввода мощностей в год.

Производство «голубого» аммиака с CCUS. **Технологический разрыв есть: в России производство только планируется.**
Уровень локализации – 0%.
Разрыв предложения – 0,5-0,7 Мт ввода мощностей в год.

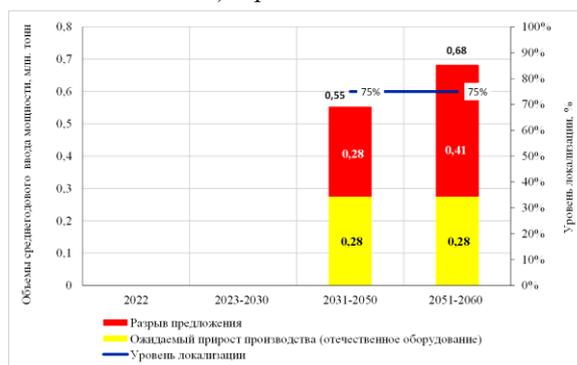
Производство «зеленого» аммиака с использованием водорода.
Технологический разрыв есть: в России производство даже не планируется.
Уровень локализации – 0%.
Разрыв предложения – 0,05-0,087 Мт ввода мощностей в год



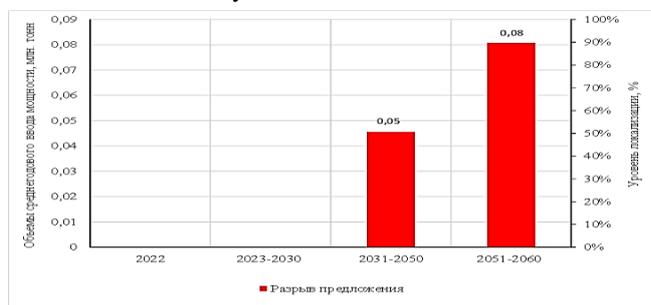
Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: производство цемента сухим и комбинированными способами



Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия (2023-2060 годы): производство аммиака



Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: «голубой» аммиак с CCUS



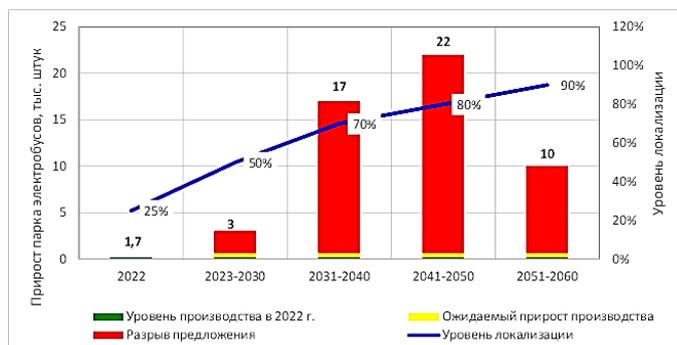
Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: «зеленый» аммиак с использованием водорода

Электромобили. Технологического разрыва по этой технологии в мире нет. В России собственных моделей пока нет и уровень локализации не превышает 10%. Ожидается его постепенный рост до 50% к 2030 году и до 60-70% в последующие годы. Разрыв предложения оценивается в 100 тыс. в 2030 году. Он выходит на пик на уровне 400 тыс. и затем постепенно сокращается.



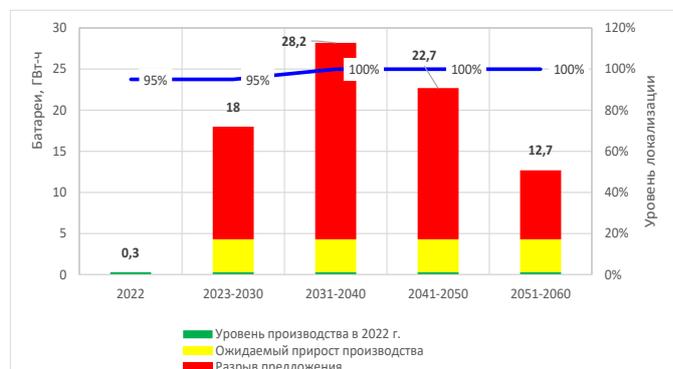
Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: электромобили

Электробусы. Технологического разрыва по этой технологии нет, но уровень локализации ограничен 25-40%. Разрыв предложения оценивается в 3 тыс. к 2030 году и 20 тыс. в 2040-х годах. Он может быть полностью покрыт за счет наращивания собственного производства



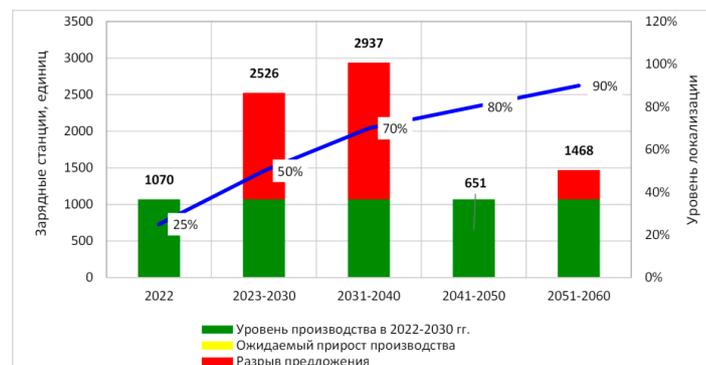
Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: электробусы

Батареи. Технологического разрыва по этой технологии нет, уровень локализации – 95%. Проблема в доступности ресурсов лития. Разрыв предложения оценивается в 1,3 ГВт-ч к 2030 году и 18-24 ГВт-ч в 2031-2050 годах с последующим сокращением. При своевременном разворачивании добычи лития в России он может быть полностью покрыт за счет наращивания собственного производства



Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: батареи

Зарядные станции. Технологического разрыва по этой технологии нет, но уровень локализации не превышает 25%. Разрыв предложения оценивается в 2,5 тыс. станций в 2030 году. По мере насыщения он снижается до 400 к 2060 году



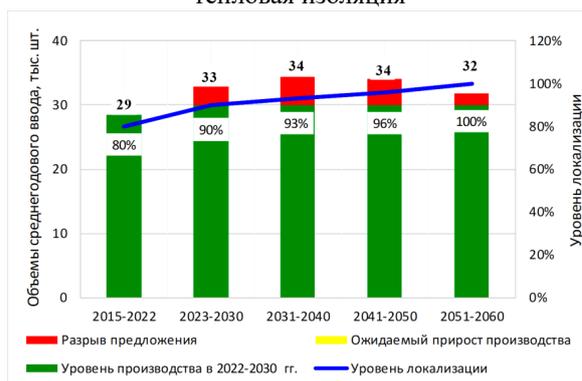
Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: зарядные станции

Тепловая изоляция.
Технологического разрыва по этой технологии нет.
Уровень локализации близок к 100%. Разрыв предложения оценивается на уровне 20-30 млн м³, после 2030 года он может быть полностью покрыт за счет наращивания собственного производства.



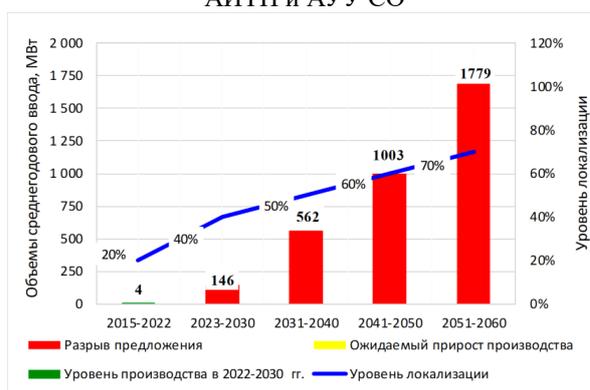
Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия:
тепловая изоляция

АИТП и АУУ СО.
Технологического разрыва нет.
Ожидается, что уровень локализации повысится до 90% к 2030 году, а затем – до 100%. Разрыв предложения в 2-5 тыс. единиц может быть полностью покрыт за счет наращивания собственного производства.



Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия:
АИТП и АУУ СО

Солнечные подогреватели (коллекторы). Технологический разрыв по этой технологии есть – в России ее производство почти не освоено.
Ожидается, что уровень локализации повысится до 40% к 2030 году, а затем – до 70%. Разрыв предложения к 2030 году составит 146 МВт; к 2060 году – 1800 МВт.



Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия:
солнечные подогреватели

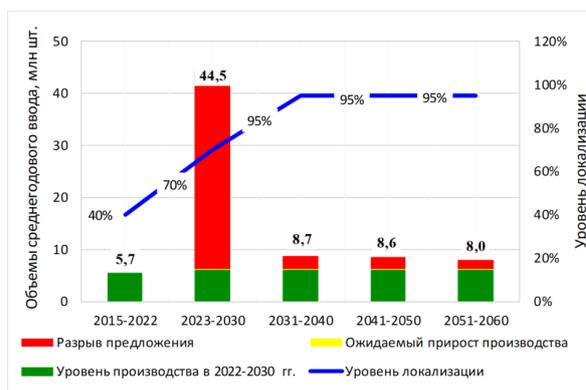
Тепловые насосы. Технологический разрыв есть – в России их производство почти не освоено.
Ожидается, что уровень локализации повысится до 50% к 2030 году, а затем – до 80%. Разрыв предложения к 2030 году составит 196 МВт; к 2060 году – 3200 МВт.



Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия:
тепловые насосы

«Умный» учёт. Технологического разрыва нет – в России налажено производство.

Уровень локализации – 40%. Ожидается его повышение до 85% к 2030 году, а затем – до 95%. Разрыв предложения к 2030 году составит более 40 млн ед. в год. После 2030 года он сокращается до 2-3 млн ед. и может быть полностью закрыт собственным производством.



Технологический разрыв в сфере производства: «умные» приборы учёта электроэнергии

Фотоэлектрические панели. Технологического разрыва по этой технологии нет: в России налажено их производство. Уровень локализации – 70%. Ожидается его повышение до 80% к 2030 году, а затем – до 95%. Разрыв предложения к 2060 году – 3,8 ГВт. Неясно, насколько он может быть покрыт собственным производством.



Технологический разрыв в сфере производства ФЭП для децентрализованного электроснабжения

Электролизеры. Технологический разрыв по этой технологии есть – в России ее производство почти не освоено.

Уровень локализации – 20% к 2030 году с последующим ростом. Разрыв предложения – 4 МВт в 2030 году и 37 МВт в 2060 году.



Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: производство электролизеров для водорода

«Голубой» водород с CCUS. Технологический разрыв по этой технологии есть – в России ее производство почти не освоено.

Ожидается, что уровень локализации повысится до 20% к 2030 году, а затем и до 80%. Разрыв предложения – 6 тыс. т в 2030 году и 30 тыс. т в 2060 году.



Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: производство «голубого» водорода с CCUS

«Зеленый» водород. Технологический разрыв по этой технологии есть – в России ее производство почти не освоено. Ожидается, что уровень локализации повысится до 40% к 2030 году, а затем и до 90%. Разрыв предложения – 0,7 тыс. т в 2030 году и 15 тыс. т в 2060 году.

CCUS. Технологический разрыв по этой технологии есть – в России ее производство не освоено. Оценки уровня локализации спекулятивны: ожидается его повышение до 40% к 2030 году, а затем и до 80%. Разрыв предложения – 2,1-2,3 тыс. т CO₂ в год.



Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: производство «зеленого» водорода



Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: CCUS

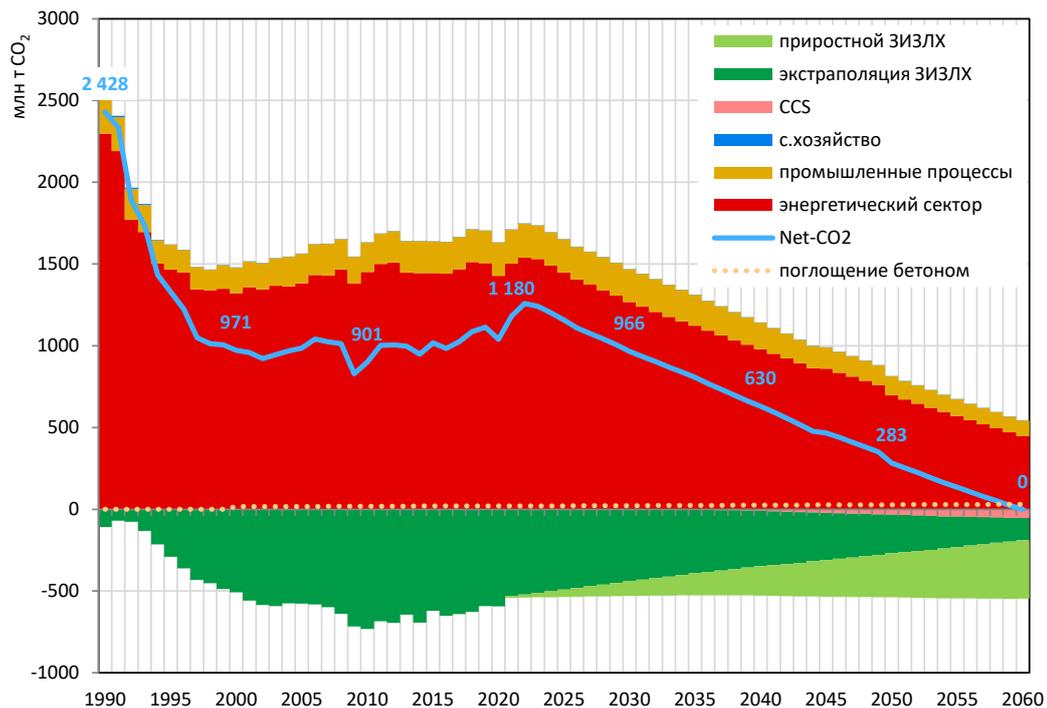
1.9 Разрыв масштаба. Nothing-to-see view

- Декаплинг исчез
- В России в последние годы наблюдается суперкаплинг:
 - в 2020 и 2021 годах выбросы ПГ строго следовали за динамикой ВВП
 - прирост как суммарных нетто-выбросов ПГ, так и выбросов ПГ от сектора энергетики: (а) в 2021 году стал рекордным за весь период наблюдений с 1990 года и (б) строго следует за динамикой ВВП.

Достижение углеродной нейтральности к 2060 году все еще возможно даже без увеличения нетто-стоков в секторе ЗИЗЛХ (рис. 1.1).

Исследования ЦЭНЭФ-XXI, проведенные в 2022-2023 годах, остаются единственными, в которых протестирована такая возможность.

- Оцененные в 2022 году траектории движения к углеродной нейтральности до 2060 года несколько изменились.
- Ограниченный в среднесрочной перспективе доступ к низкоуглеродным технологиям тормозит их внедрение и поддерживает выбросы ПГ на более высоком уровне.
- В итоге применения низкоуглеродных технологий на фоне скорректированных оценок развития экономики России до 2060 года сформированы траектории выбросов ПГ, обеспечивающие достижение Россией заявленной цели углеродной нейтральности к 2060 году.

Рисунок 1.1 **Динамика выбросов и стоков CO₂ в сценарии 4D**

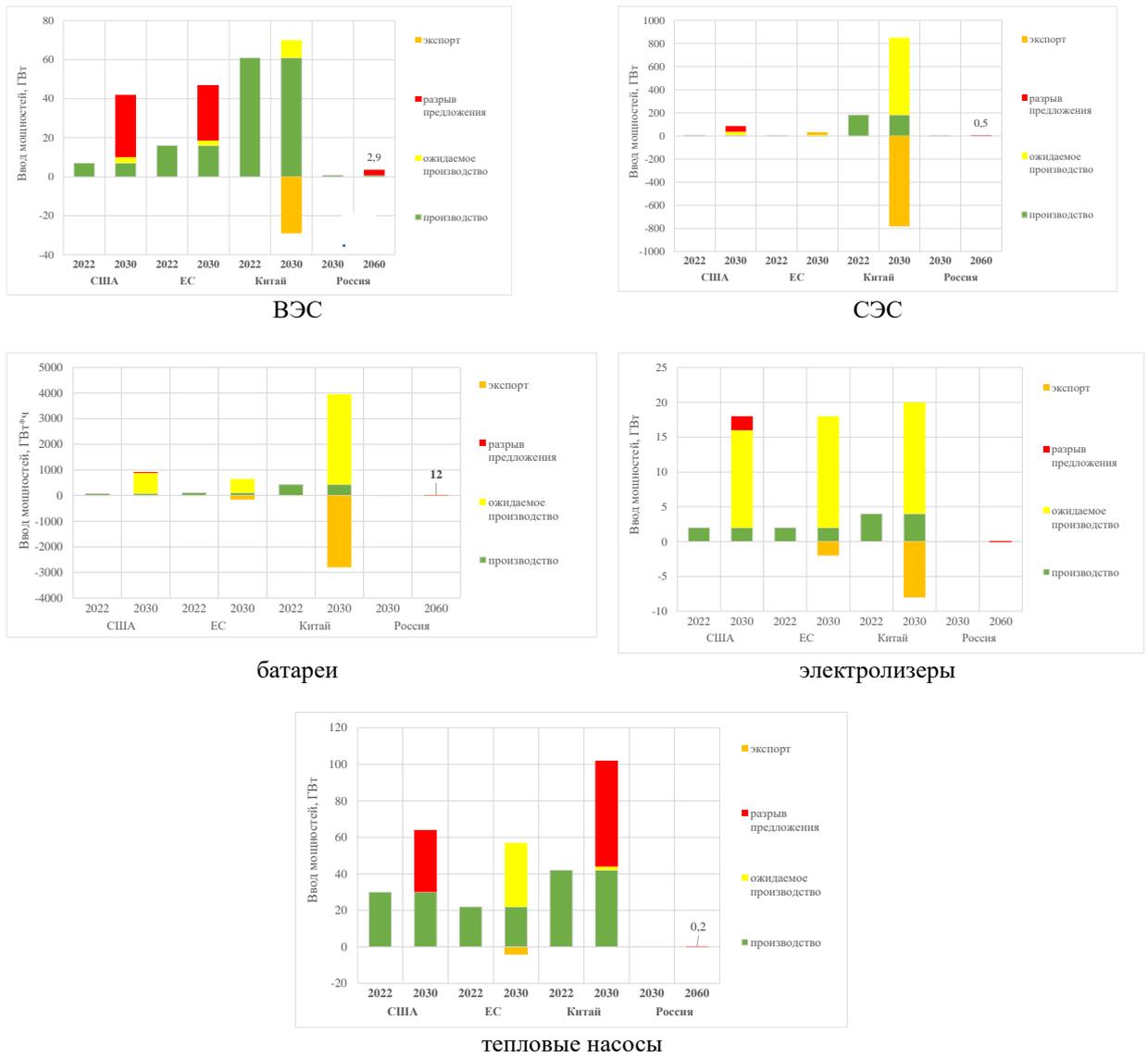
Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Nothing-to-see view: масштабы применения и производства низкоуглеродных технологий в России крайне малы на фоне мировых лидеров (рис. 1.2).

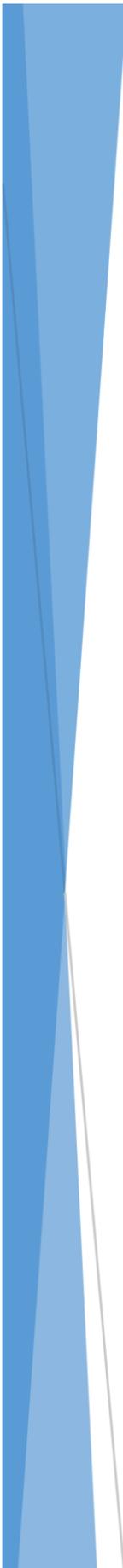
Вопрос в том, насколько Россия готова углублять технологическую зависимость от Китая и насколько существенными возможностями для ее преодоления она располагает или будет располагать.

- В дополнение к оцененным выше трем разрывам можно увидеть еще разрыв масштаба российского рынка с другими национальными и региональными рынками.
- Политика полного технологического суверенитета – это тупиковый путь, чреватый непомерными издержками при отсутствии гарантии успеха. Усилия СССР по его достижению, предпринимавшиеся с начала 30-х годов XX века, не увенчались успехом.
- Разносторонняя и географически сбалансированная международная кооперация в сфере производства низкоуглеродных технологий – это устойчивая и эффективная стратегия для России, поскольку масштабы ее рынка недостаточно велики.

Рисунок 1.2 Nothing-to-see view: годовые масштабы производства низкоуглеродных технологий в России на фоне мировых лидеров



Источники: ЦЭНЭФ-XXI и IEA. 2023. The State of Clean Technology Manufacturing. An Energy Technology Perspectives Special Briefing.

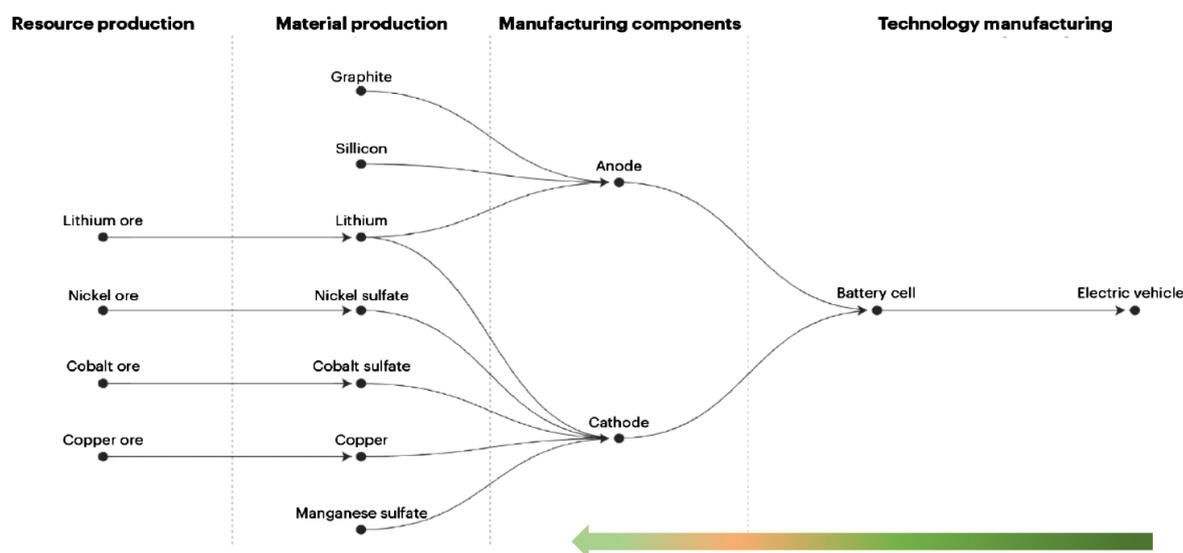


2

Инструменты анализа и прогноза

Для решения поставленных в данной работе задач нужно определить масштабы применения и источники поставок низкоуглеродных технологий¹⁶ на перспективу до 2060 года – целевого года достижения Россией углеродной нейтральности. Следующий шаг – определить потребности в среднегодовых (по десятилетиям) вводах мощностей для обеспечения целевых объемов использования низкоуглеродных технологий. Третий шаг – оценка современных (2022-2023 годы) масштабов применения и вводов мощностей по использованию и производству этих технологий, современного уровня локализации их производства и источников импорта как самих технологий, так и ключевых компонентов на одном-двух звеньях технологической цепочки (рис. 2.1), которые предшествуют выпуску конечной продукции. Ключевые звенья технологических цепочек определяются по схемам, предложенным МЭА.¹⁷ Так, для электромобилей оценивается их парк, ежегодный объем продаж, ежегодный объем производства в России и прирост мощностей по их выпуску, импорт электромобилей, потребность, объемы производства и импорта батарей, число зарядных станций и источники поставок оборудования для них. Четвертый шаг – оценка масштабов наращивания производства низкоуглеродных технологий в России на кратко- и среднесрочную перспективу. На этом шаге оценивается технологический разрыв – нехватка экономически доступных низкоуглеродных технологий с высоким уровнем технологической готовности. На этом же шаге определяется разрыв локализации – нехватка производимого в России оборудования. Пятый шаг – оценка разрыва предложения-потребности в импорте технологий с определением возможных источников импорта, или потребности в наращивании его производства в России.

Рисунок 2.1 Ключевые элементы для каждого шага в выбранных цепочках поставок экологически чистой энергии и технологий



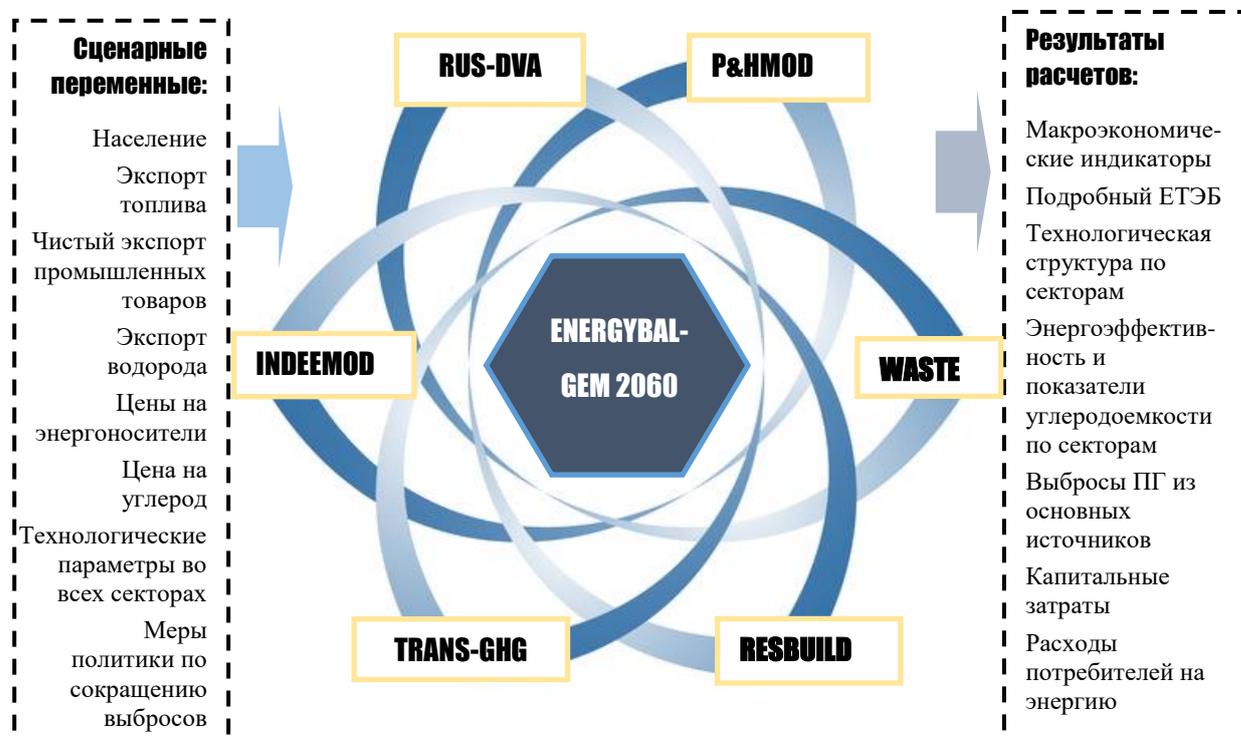
Источник: IEA. 2023. Energy Technology Perspectives 2023.

¹⁶ Согласно определению МЭА, технология – это цепочка поставок – последовательность шагов или стадий, которая требуется для доставки технологии или энергетической услуги на рынок. Эти шаги включают добычу природных ресурсов (таких, как полезные ископаемые), производство материалов и топлива, изготовление компонентов и сборку их в технологию или систему, установку и эксплуатацию этой технологии, а также управление отходами, образующимися во время эксплуатационного срока и при ее демонтаже по истечении срока службы. Технология включает в себя комбинацию оборудования, навыков, методов и процессов, используемых для производства. IEA. 2023. Energy Technology Perspectives 2023.

¹⁷ IEA. 2023. Energy Technology Perspectives 2023; IEA. 2023. The State of Clean Technology Manufacturing. An Energy Technology Perspectives Special Briefing.

Для реализации первого шага используется «облако» моделей ЦЭНЭФ-XXI. Все модели сгруппированы вокруг ENERGYBAL-GEM-2060 – ключевой мультисекторальной динамической имитационной модели. Многие из ее параметров определяются при помощи «облака» моделей. Их взаимодействие показано на рис. 2.2.¹⁸

Рисунок 2.2 «Облако» моделей ЦЭНЭФ-XXI



Источник: Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichek, A. Lunin, I. Govor. 2022. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENEf-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060>.

«Облако» моделей ЦЭНЭФ-XXI включает: макроэкономическую модель RUS-DVA (2 сектора – нефтегазовый и ненефтегазовый, 5 продуктов, 6 блоков); модель для электро- и теплоэнергетики P&HMOD (10 видов генерации электроэнергии и тепла); модель для промышленности INDEE-MOD (около 60 промышленных продуктов, технологий и производственных процессов); модель для транспорта TRANS-GHG (9 видов транспорта плюс 1-2 типа транспортных средства в каждом виде, которые разбиты по видам силовых агрегатов); модели для зданий RESBUILD (2 вида жилых зданий – многоквартирные и индивидуальные, 9 процессов потребления энергии и видов оборудования); WASTE – модель для оценки выбросов от сектора отходов. У всех этих моделей расчетный шаг равен одному году, а горизонт прогнозирования – до 2060 г. При обновлении моделей в наборы данных для калибровки параметров были добавлены данные за 2021 и 2022 годы.

¹⁸ Подробное описание моделей см. в: Bashmakov I. 2022. The angle of incidence is not equal to the angle of reflection. April 2022. [CENEf-XXI](https://cenef-xxi.ru); Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichek, A. Lunin, I. Govor. 2022. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENEf-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060>.

Основные сценарные условия сценария 4D остались в основном неизменными.¹⁹ Допущения были подкорректированы для лучшего отражения эффекта санкций и процесса декарбонизации, а также новых реалий в сфере доступности рабочей силы, и для лучшего понимания возможных пределов изменения многофакторной производительности и изменения параметров внешней торговли.²⁰ На базе этой модели были оценены масштабы применения низкоуглеродных технологий и потребности в среднегодовых вводах мощностей для обеспечения целевых объемов использования низкоуглеродных технологий по десятилетиям: 2023-2030, 2030-2040, 2040-2050 и 2050-2060 годы.

Оценка современных масштабов применения и вводов мощностей, уровня локализации их производства и источников импорта была проведена на основе использования информационных ресурсов Росстата и ФТС, целевых параметров государственных стратегических документов и широкого поиска информации как в литературе, так и на сайтах ведущих российских компаний, промышленных ассоциаций и аналитических центров. Этот анализ касался как самих технологий, так и их компонентов на одном-двух ключевых звеньях технологической цепочки, которые предшествуют выпуску конечной продукции. Это позволило оценить перспективы наращивания масштабов производства низкоуглеродных технологий в России до 2030 года и определить уровень локализации производимого в России оборудования.

Имеющаяся информация не позволяет сделать сколько-нибудь надежные оценки за пределами 2030 года. Поэтому далее оценивается потенциальный дефицит предложения, который может быть заполнен либо за счет наращивания производства в России, либо за счет импорта. В последнем случае определяются возможные источники импортных поставок. Что касается наращивания производства в России, то длительный горизонт анализа особенно важен, поскольку вывод новых технологий на рынок требует времени, а мировой опыт показывает, что на коммерциализацию инноваций может потребоваться от 20 до 70 лет.²¹

В работе используется следующая применяемая МЭА²² шкала уровня технологической готовности:

- 1 Первоначальная идея: определены основные принципы
- 2 Обосновано применение: сформулирована концепция и реализация решения
- 3 Концепция нуждается в проверке: разработка и применение прототипа
- 4 Ранний прототип: испытание прототипа в тестовых условиях
- 5 Крупный прототип: компоненты проверены в реальных условиях
- 6 Полномасштабный прототип: полномасштабный прототип проверен в реальных условиях
- 7 Демонстрация до начала коммерческих применения: техническое решение работает в ожидаемых условиях

¹⁹ Там же.

²⁰ Башмаков И.А. Внешняя торговля, экономический рост и декарбонизация в России. Долгосрочные перспективы. Москва, апрель 2023 г. https://cenef-xxi.ru/uploads/RUS_Vneshnyaya_torgovlya_ekonomicheskij_rost_Perspektivy_463a2412c5.pdf.

²¹ IEA. 2023. Energy Technology Perspectives 2023.

²² IEA. 2020. Energy Technology Perspectives 2020.

- 8 Первый коммерческий образец: коммерческая демонстрация, применение полномасштабного образца в его окончательной форме
- 9 Коммерческая эксплуатация в реальных условиях: решение экономически целесообразно, требуются усовершенствования для сохранения конкурентных преимуществ
- 10 Масштабная интеграция: дополнительные усилия по интеграции технологического решения в существующую техническую среду
- 11 Доказательство стабильности: достижение предсказуемого роста продаж

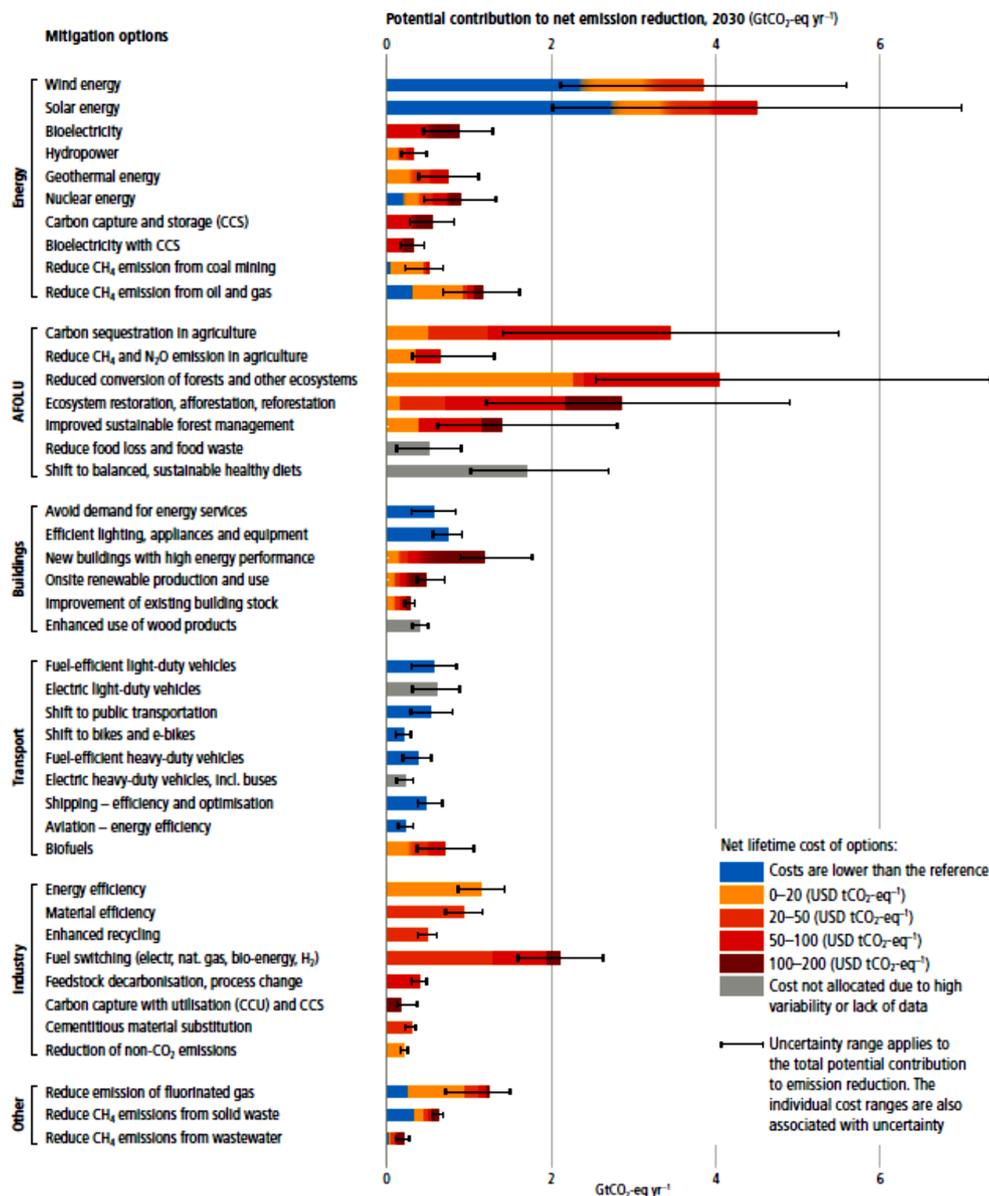
3

Ключевые низкоуглеродные технологии

3.1 Определение ключевых технологий

Под ключевыми низкоуглеродными технологиями имеются в виду те, для которых: (а) потенциал снижения выбросов ПГ сравнительно велик, и (б) они могут быть реализованы при приемлемых затратах. Практически все виды человеческой деятельности прямо или косвенно порождают выбросы ПГ, и практически во всех видах деятельности есть технологии, применение которых позволяет снижать выбросы ПГ. Однако как масштабы выбросов ПГ, так и потенциал их возможного снижения за счет применения новых технологий заметно различаются по секторам и по направлениям деятельности (рис. 3.1).

Рисунок 3.1 Потенциал снижения выбросов ПГ за счет отдельных групп мер и технологий в 2030 году



Источник: IPCC, 2022: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khouradajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001.

Среди 43 позиций, представленных на рис. 3.1, есть не только технологические меры, но и управленческие, например, переключение пассажиропотока на общественный транспорт. Но и такие меры, как правило, требуют применения новых технологий и строительства инновационных элементов инфраструктуры. Также есть меры поведенческие: снижение потребности в услугах в жилом секторе (рациональное ограничение потребности в жилой площади) или изменение диеты (сокращение потребления говядины), которые требуют огромных усилий в сфере социального инжиниринга, направленных на отказ от веками сложившихся стереотипов поведения (питания).

Во многих случаях низкоуглеродные технологии уже более экономически привлекательны по сравнению с традиционными, поэтому их внедрение не требует дополнительных затрат. Однако есть большой перечень технологий, которые находятся на начальном уровне развития, и поэтому их применение сопряжено со значительными расходами. В наибольшей степени это технологии в промышленности и секторе ЗИЗЛХ (рис. 3.1). Поэтому анализ затрат является важным аспектом определения ключевых технологий.

Уровень детализации анализа должен позволить увидеть общую картину возможности декарбонизации российской экономики к 2060 г., но при этом на этой картине должно быть прописано достаточно число деталей. На рис. 3.1 показаны агрегированные группы технологий, каждая из которых делится на составляющие. Например, ВЭС делятся на наземные, прибрежные, шельфовые, плавающие, парящие, горные, с горизонтальной и вертикальной осью вращения, мобильные и стационарные, роторные и крыльчатые, по диапазонам мощности и т.д. В данной работе рассматриваются в основном агрегированные технологии с детализацией не столько по их подвидам, сколько по цепочкам поставок. Например, составляющая «новые здания с высокими энергетическими характеристиками» предполагает применение широкого набора технологий утепления, рекуперации и регулирования использования тепла, применения ВИЭ, умного учета и др. Такая детализация анализа важна, поскольку в ее отсутствие неясно, можно ли технологически обеспечить достижение «высоких энергетических характеристик».

В данной работе уровень детализации выше, чем в работе ЦЭНЭФ-XXI 2020 года, где были рассмотрены 24 низкоуглеродные технологии и проведен сопоставительный анализ масштабов их применения в России, Великобритании и в мире в целом.²³ Основная часть этих технологий включена и в данный анализ, но перечень расширен за счет включения в систему моделей ЦЭНЭФ-XXI дополнительных технологий и большей детализации уже имеющихся. Оценки эффектов от их применения использовались при формировании трех сценариев перехода России к углеродной нейтральности, сделанных в 2022 году.²⁴

Важным элементом, определяющим границы анализа, является выбор метрик для описания отдельных низкоуглеродных технологий. Он зависит от целей работы. В работе 2020 года выделялись такие метрики, как рыночная ниша, затраты на реализацию технологии, прочие важные характеристики технологии, экологические, экономические и социальные выгоды, требования к инфраструктуре, механизмы продвижения

²³ Центр энергоэффективности – XXI век (ЦЭНЭФ-XXI) и University College London. Institute for Sustainable Resources. 2020. Мониторинг применения низкоуглеродных технологий в России: возможности для ускорения и риски отставания. Москва, февраль 2020 г. [CENef-XXI](#); Башмаков И.А., В.И. Башмаков, К.Б. Борисов, М.Г. Дзедзичек, П. Драммонд, А.А. Лунин, О.В. Лебедев, П. Карвальхо. Мониторинг внедрения низкоуглеродных технологий в России. ЭВР. №№ 4-5. 2020; Башмаков И.А., М.Г. Дзедзичек, А.А. Лунин, П. Драммонд. Мониторинг внедрения низкоуглеродных технологий в зданиях. Энергосбережение, №№ 4 и 5, 2020. Башмаков И.А., В.И. Башмаков, К.Б. Борисов, М.Г. Дзедзичек, П. Драммонд, А.А. Лунин, О.В. Лебедев, П. Карвальхо. Отстать легко, догнать трудно. Мониторинг внедрения низкоуглеродных технологий в России. Нефтегазовая вертикаль, № 8/2020.

²⁴ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichек, A. Lunin, I. Govor. 2022. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENef-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060>.

низкоуглеродных технологий, а также степень политической и общественной поддержки низкоуглеродных технологий. В данной работе приоритет отдан следующим метрикам: рыночная ниша, затраты на реализацию технологии, масштабы производства в России, уровни технологической готовности и локализации производства, наличие необходимой инфраструктуры, масштабы и источники возможного импорта, а также перспективы экспорта (табл. 3.1).

Таблица 3.1 Метрики для описания низкоуглеродных технологий

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	Объем ежегодного ввода технологии, необходимый для движения по траектории достижения углеродной нейтральности к 2060 году
2	Затраты на реализацию технологии	Удельные затраты на единицу мощности, продукции или на единицу экономии энергии (например, приведенные затраты на единицу производства электроэнергии – LCOE, простые затраты по сравнению с традиционной технологией, потребность в субсидировании)
3	Уровень технологической готовности	По шкале уровней технологической готовности в основном выбираются уровни 8–9, которые характерны для запуска производства: TRL 8 – сборка реального устройства, которое тестируется в составе системы в ожидаемых эксплуатационных условиях, и TRL 9 – реальная демонстрация технологии в ее завершеном виде, после чего принимается решение о серийном выпуске
4	Масштабы производства в России	Объемы возможного производства в России технологий для выпуска низкоуглеродной продукции
5	Уровень локализации производства	Доля производственных процессов, осуществляемых на территории России, а также объем использования местных комплектующих и сырья, включая основные компоненты на 2-3 ступенях технологической цепочки, предшествующих производству конечного продукта
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Инфраструктура может рассматриваться как отдельная технология (например, зарядные станции, системы транспорта и хранения водорода или CO ₂)
7	Масштабы источники возможного импорта	Наличие производителей низкоуглеродных технологий в других странах, возможность поставлять их оборудование в Россию и готовность России покупать это оборудование
8	Перспективы экспорта	Наличие рынков сбыта в других странах

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

В свете постановки задачи повышения уровня локализации производства оборудования для использования низкоуглеродных технологий важным аспектом анализа является оценка возможностей собственного их производства или эффективного встраивания в международные цепочки поставок. Ограниченные возможности наращивания собственного производства оборудования при ограничениях на их импорт с учетом рисков повышения технологической зависимости от таких технологических сверхдержав, как Китай, могут создавать высокие риски неспособности России выйти на углеродную нейтральность к 2060 году. Проблема технологической зависимости воспринимается очень серьезно в США и в странах МЭА в целом, поэтому последнее издание Energy Technology Perspectives 2023²⁵ в значительной мере посвящено именно ей. Во многих последних прогнозах развития мировой энергетики все больше внимания уделяется спросу на редкие материалы.²⁶

²⁵ IEA. Energy Technology Perspectives 2023.

²⁶ IRENA. World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi; BP Energy Outlook 2050: January 2023.

Список технологий очерчивает границы анализа. В первую очередь проводится анализ существующих масштабов применения этих технологий и определяются координаты достигнутых масштабов относительно траекторий, позволяющих реализовать стратегические целевые установки по масштабам применения низкоуглеродных технологий в середине XXI века. Таким образом, сравнение проводится в двух срезах:

- динамическом – относительно траекторий достижения целевых или сценарных масштабов применения низкоуглеродных технологий;
- географическом – относительно источников поставки низкоуглеродных технологий в Россию.

Это предполагает наличие стратегических целевых установок по масштабам развития низкоуглеродных технологий. При отсутствии явно заданных целевых установок могут проводиться сравнения с траекториями для альтернативных сценариев внедрения низкоуглеродных технологий. Важной задачей также является оценка влияния роста использования и производства низкоуглеродных технологий на параметры макроэкономического развития и экспортный потенциал России.

3.2 Энергетические системы

В данной работе анализ проведен для четырех групп технологий: АЭС; ВЭС; СЭС и сетевые системы накопления энергии. CCUS рассматривается как отдельное направление. В главе «Энергетические системы» Шестого Оценочного доклада Рабочей группы III МГЭИК подробно рассмотрены следующие технологии снижения выбросов ПГ: СЭС; ВЭС; ГЭС; АЭС; геотермальная энергия; CCUS для топливных источников; биотопливо; технологии обеспечивающие гибкость электроснабжения, включая системы хранения энергии и топливные элементы на водороде; электролизеры и технологии производства водорода из природного газа и угля; технологии производства синтетического топлива на основе использования водорода.²⁷ В оценках МГЭИК²⁸, МЭА²⁹ и IRENA³⁰ основной вклад в снижение выбросов в секторе «энергетические системы» приходится на технологии ВИЭ, использование биотоплива, водорода и CCUS.

По оценке МЭА, в 2070 году за счет внедрения СЭС глобальные выбросы CO₂ в электроэнергетике снизятся на 27%; ВЭС – на 18%; биоТЭС с CCUS – на 10%; за счет оснащения источников на ископаемых топливах системами CCUS – на 10%; ГЭС – на 5%; АЭС – на 4%. Остальное приходится на экономию электроэнергии и замену одних видов ископаемого топлива другими.³¹ Для России важно выделение АЭС.

²⁷ Clarke, L., Y.-M. Wei, A. De La Vega Navarro, A. Garg, A.N. Hahmann, S. Khennas, I.M.L. Azevedo, A. Lutschel, A.K. Singh, L. Steg, G. Strbac, K. Wada, 2022: Energy Systems. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khouradajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.008.

²⁸ Там же.

²⁹ IEA. 2023. Energy Technology perspectives. 2023; IEA. World Energy Outlook. 2022.

³⁰ IRENA. 2022. World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

³¹ IEA. Energy Technology perspectives. 2020.

3.3 Промышленность

В промышленности анализ проведен для восьми технологий в наиболее энергоемких отраслях: черной и цветной металлургии, цементной и химической промышленности. По оценке МЭА³² эти отрасли должны обеспечить две трети снижения выбросов ПГ в промышленности к 2050 г. в сценарии углеродной нейтральности. В России на эти отрасли приходится более половины выбросов в промышленности и более 60% выбросов в обрабатывающей промышленности. В главе «Промышленность» Шестого Оценочного Доклада Рабочей группы III МГЭИК подробно рассмотрен широкий перечень низкоуглеродных технологий.³³ В черной металлургии в этом докладе рассмотрены следующие технологии снижения выбросов ПГ:³⁴

- Увеличение доли использования металлолома (increasing the share of the secondary route);
- Оснащение системы доменная печь-конвертер установками CCU или CCS (BF-BOFs with CCU or CCS);
- Производство железа прямого восстановления (DRI) с использованием синтез-газа на основе метана с установками CCU или CCS (direct reduced iron (DRI), with methane-based syngas (hydrogen and carbon monoxide) with CCS);
- Производство железа прямого восстановления (DRI) с использованием водорода (hydrogen-based direct reduced iron (H-DRI));
- Электролиз железной руды (the aqueous electrolysis route). Железная руда погружается в раствор электролита, с помощью электрического тока удаляется кислород, а затем продукт поступает в электродуговую печь. Есть только одна небольшая пилотная установка (Siderwin);
- Электролиз расплавленного оксида (molten oxide electrolysis route) Электрический ток используется для прямого восстановления и плавления железной руды с помощью электролиза в одну стадию с последующей плавкой;
- Процесс HIsarna® — это новый процесс, в котором железная руда с некоторым добавлением стального лома непосредственно восстанавливается в передельный чугун в одном реакторе (The HIsarna® process). Этот процесс используется в небольших масштабах;
- Добавление водорода в доменные печи (hydrogen co-firing in BF-BOFs).

³² IEA. World Energy Outlook. 2022.

³³ Bashmakov, I.A., L.J. Nilsson, A. Acquaye, C. Bataille, J.M. Cullen, S. de la Rue du Can, M. Fishedick, Y. Geng, K. Tanaka, 2022: Industry. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.013.; см также: Башмаков. И.А. Масштаб необходимых усилий по декарбонизации мировой промышленности. Фундаментальная и прикладная климатология, Т. 8, № 2, 2022.

³⁴ См. также: Башмаков И.А. Выбросы парниковых газов от мировой черной металлургии: прошлое, настоящее и будущее // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2021. Т. 77. № 8. С. 882-901. Doi: 10.32339/0135-5910-2021-8-882-901; Башмаков И.А., Скобелев Д.О., Борисов К.Б., Гусева Т.В. Системы бенчмаркинга по удельным выбросам парниковых газов в черной металлургии // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2021. Т. 77. № 9. С. 1071-1086. Doi: 10.32339/0135-5910-2021-9-1071-1086.

Ряд перечисленных технологий пока реализуется только на пилотных установках. Уровень их технологической готовности еще низкий, и точные сроки ввода промышленных установок не определены.³⁵ Пока неясно, кто и как будет производить оборудование для их масштабного применения. Поэтому рассматривались только технологии, опыт промышленной эксплуатации которых либо уже имеется, либо их запуск ожидается до 2030 года. По оценкам МГЭИК³⁶ и МЭА,³⁷ решающий вклад в снижение выбросов в цементной промышленности мира внесут процессы электрификации, использование водорода и других топлив и CCS. Другой критерий – наличие технологий в планах по декарбонизации российских металлургических компаний.

На основе этих соображений для дальнейшего анализа были отобраны следующие технологии:

- Электродуговые печи, которые используются практически во всех технологических маршрутах производства стали с низкими выбросами ПГ, включая повышение доли использования металлолома;
- Производство железа прямого восстановления (DRI) с использованием водорода.

В цветной металлургии рассмотрены только такие технологии, как применение сверхмощных электролизеров второго поколения RA-550, а также применение инертных анодов, позволяющих устранить выбросы от срабатывания графитовых электродов. Производство алюминия по технологии инертных анодов запущено в 2021 году на опытной площадке Красноярского алюминиевого завода (КраАЗ). В 2022 году по технологии инертного анода произведено 3960 тонн алюминия (марка «ALLOW INERTA»). Ожидается, что в промышленных масштабах эта технология будет доступна уже в 2024 году.

В цементной промышленности в докладе МГЭИК³⁸ и в данной работе рассмотрены следующие технологии снижения выбросов ПГ:

- Переход к сухому способу производства цемента для тех установок, где еще используется мокрый;
- Снижение клинкер-фактора за счет роста доли добавок к клинкеру (доменный шлак, угольная зола, природные пуццолановые материалы и др.) при производстве цемента и замена клинкера молотым известняком и специальными кальцинированными глинами;
- Повышение доли использования альтернативных топлив, включая биотопливо, при производстве клинкера;
- Использование технологии CCUS.

³⁵ IEA. 2020. Energy Technology Perspectives. 2020.

³⁶ Bashmakov, I.A., L.J. Nilsson, A. Acquaye, C. Bataille, J.M. Cullen, S. de la Rue du Can, M. Fischedick, Y. Geng, K. Tanaka, 2022: Industry. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khouradajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.013.

³⁷ IEA. 2020. Energy Technology Perspectives. 2020.

³⁸ См. также Башмаков. И.А. Перспективы развития и декарбонизации цементной промышленности мира. Фундаментальная и прикладная климатология, т. 9, № 1, 2023.

По оценкам МГЭИК³⁹ и МЭА,⁴⁰ решающий вклад в снижение выбросов в цементной промышленности мира вносят: снижение клинкер-фактора и использование технологии CCS. Аналогичные оценки получены и для России.⁴¹ Существуют также альтернативы клинкеру материалы, такие как карбонизируемые клинкеры из силиката кальция, из оксида магния и др., но эти материалы не являются широкодоступными, и для их использования требуются испытания, новые протоколы, изменения в СНиП и пилотные проекты. Кроме того, в лабораторной или пилотной стадиях находятся такие процессы, как электрификация кальцилятора, частичное использование водорода в клинкерных печах, декарбонизация карбоната кальция в электролизере и др.⁴² По причине низкого уровня технологической готовности в данной работе они не рассматриваются.

Химическая промышленность производит тысячи продуктов. Главным источником выбросов CO₂ является производство аммиака, который в основном производится путем преобразования природного газа. Возможна замена этой технологии на использование водорода, получаемого путем электролиза, или за счет конверсии природного газа с CCS, или за счет пиролиза метана – процесса, при котором метан превращается в водород и твердый углерод. Паровой крекинг нефти и сжиженного природного газа для производства олефинов (например, этилена, пропилена и бутилена) и другие дорогостоящие химикаты — второй по объему выбросов CO₂ процесс в химической промышленности, на который приходится еще 20% выбросов. Технологии снижения выбросов ПГ включают электрификацию подачи тепла в установку парового крекинга. В дальнейшем электрокатализ монооксида углерода, метанола, этанола, этилена и муравьиной кислоты могут обеспечить прямое электрическое преобразование химического сырья и отходов в новые продукты.

В химической промышленности в докладе МГЭИК⁴³ и в работе МЭА⁴⁴ рассмотрены следующие три основные группы технологий, от которых ожидается наиболее значительное снижение выбросов ПГ:

- Замена используемых энергоносителей и сырья на биотопливо, водород, синтетические топлива на основе углерода и водорода в первую очередь для производства аммиака и метанола;
- Электрификация на основе электроэнергии с низкими или нулевыми выбросами CO₂, например, использование электрических котлов или высокотемпературных тепловых насосов;

Использование технологии CCUS, включая широкомасштабное применение циркуляции углерода за счет CCU. Однако эти процессы очень энергоемки. Компонента CCU является важной, поскольку углерод является важным строительным блоком для большинства ключевых химических веществ.

³⁹ Bashmakov, I.A., L.J. Nilsson, A. Acquaye, C. Bataille, J.M. Cullen, S. de la Rue du Can, M. Fishedick, Y. Geng, K. Tanaka, 2022: Industry. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.013.

⁴⁰ IEA. Energy Technology perspectives. 2020.

⁴¹ Башмаков. И.А. Перспективы декарбонизации цементной промышленности России. Фундаментальная и прикладная климатология, т. 9, № 3, 2023.

⁴² IEA. 2020. Energy Technology perspectives. 2020.

⁴³ См. также Башмаков И.А. Перспективы развития и декарбонизации цементной промышленности мира Фундаментальная и прикладная климатология, т. 9, № 1, 2023; Башмаков. И.А. Перспективы декарбонизации цементной промышленности России. Фундаментальная и прикладная климатология, т. 9, № 3, 2023.

⁴⁴ IEA. Energy Technology perspectives. 2020.

В данной работе рассматриваются две технологии в химической промышленности:

1. Использование водорода, получаемого путем электролиза при производстве аммиака;
2. Использование конверсии природного газа при производстве аммиака с оснащением технологией CCUS.

3.4 Транспорт

В секторе транспорта анализ проведен для четырех технологий: электрификация легковых автомобилей; электрификация автобусов; производство электробатарей для автомобильного транспорта; установка зарядных станций. В главе «Транспорт» Шестого Оценочного доклада Рабочей группы III МГЭИК⁴⁵ подробно рассмотрены следующие технологии снижения выбросов ПГ:

- Повышение энергоэффективности двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Это важно, так как еще длительное время будут эксплуатироваться автомобили с ДВС, в т.ч. гибриды и газифицированные. Потенциал повышения энергоэффективности ДВС есть, но его недостаточно для глубокой декарбонизации транспорта.
- Газификация автомобильного транспорта. Она не дает снижения удельного расхода топлива, а выигрыш в удельных выбросах ПГ на 1 тнэ сравнительно невелик (рис. 3.2), особенно если учитывать выбросы метана по всей цепочке поставок природного газа. Поэтому перевод автомобилей на природный газ не позволит заметно снизить выбросы ПГ.
- Применение биотоплива. Преимущество – использование распространенных силовых агрегатов и топливной инфраструктуры, возможность повысить энергетическую безопасность. Здесь главный барьер – конфликт за источники биомассы с производством продовольствия. Существуют также оценки высокого уровня выбросов ПГ при оценке по всему циклу производства биотоплива. В России применение биотоплива на транспорте очень ограничено и нет планов заметного расширения.
- Аммиак. Его применение в качестве топлива наиболее подходит для водного транспорта. Выбросы от этого вида транспорта в России невелики – 5%.
- Синтетические топлива могут способствовать декарбонизации транспорта путем их синтеза из электролитического водорода, производимого на основе низкоуглеродной электроэнергии, и захваченного углерода с помощью процесса Фишера-Тропша. Из-за сходства свойств синтетического топлива со свойствами ископаемого оно может использоваться в автомобилях без существенных изменений конструкции двигателя. Наиболее вероятные ниши для его применения на транспорте – авиация и перевозки грузовиками на дальние расстояния.
- Электрификация транспорта. Переход на электромобили дает снижение выбросов ПГ даже при генерации электроэнергии на угольных ТЭС с КПД выше 35-37%. При использовании низкоуглеродной электроэнергии выбросы за цикл жизни электромобиля кратно ниже, чем для любого топливного автомобиля (рис. 3.2).

⁴⁵ Jaramillo, P., S. Kahn Ribeiro, P. Newman, S. Dhar, O.E. Diemuodeke, T. Kajino, D.S. Lee, S.B. Nugroho, X. Ou, A. Hammer Strømman, J. Whitehead, 2022: Transport. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.012.

Поэтому именно электрификация транспорта позволит заметно снизить выбросы ПГ.

- Электрохимические накопители энергии (аккумуляторы) являются ключевыми элементами электромобиля. От прогресса в повышении их компактности, емкости и удешевления, от поиска новых широкодоступных и дешевых композиций химических элементов зависит прогресс в продвижении электромобилей;
- Зарядные станции являются ключевым элементом инфраструктуры для развития электромобильности. Существуют два типа зарядной инфраструктуры: кондуктивная зарядка, включающая физическое соединение, и беспроводная/индукционная зарядка. Кроме того, развивается «умная зарядка» – интеграция электромобилей и электросетей, обеспечивающая ресурс гибкости последних.
- Топливные элементы. В трудноэлектрифицируемых сегментах – большегрузные автомобили, судоходство и авиация – могут использоваться топливные элементы на водороде, аммиаке или метаноле.

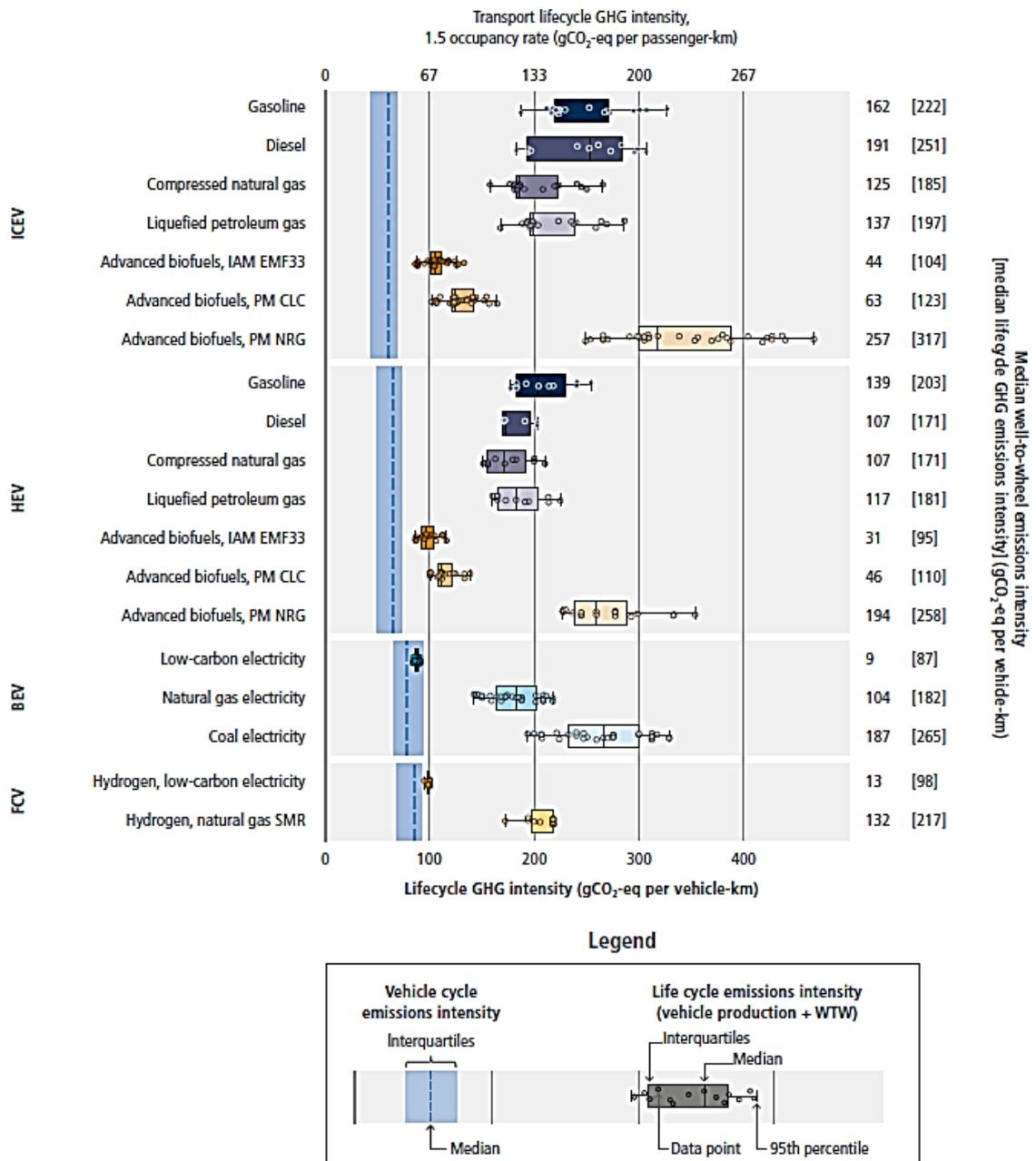
По оценке МЭА,⁴⁶ к 2050 году в сценарии углеродной нейтральности снижение выбросов ПГ распределяется следующим образом: легковые автомобили – 33%; грузовики и автобусы – 27%; авиация и водный транспорт – 32%; прочие – 8%. Таким образом, на автомобильный транспорт приходится 60% снижения выбросов. В России на дорожный транспорт приходится 90% выбросов ПГ от транспорта (без учета трубопроводного). В отношении легкового автомобильного транспорта задача решается в основном за счет его электрификации, а в отношении грузового автомобильного к 2070 году – за счет повышения эффективности его использования (загрузки) на 6%; повышения энергоэффективности – на 17%; электрификации – на 31%; использования водорода – на 27% и биотоплива – на 19%.

В данной работе рассмотрены четыре технологии на транспорте:

1. Электрификация легковых автомобилей с приоритетом на ранних стадиях таких сегментов, как такси и каршеринг.
2. Электрификация автобусов.
3. Производство электробатарей для автомобильного транспорта.
4. Установка зарядных станций.

⁴⁶ IEA. World Energy Outlook. 2022.

Рисунок 3.2 Интенсивность выбросов ПГ в течение жизненного цикла легковых автомобилей среднего размера для разных технологий



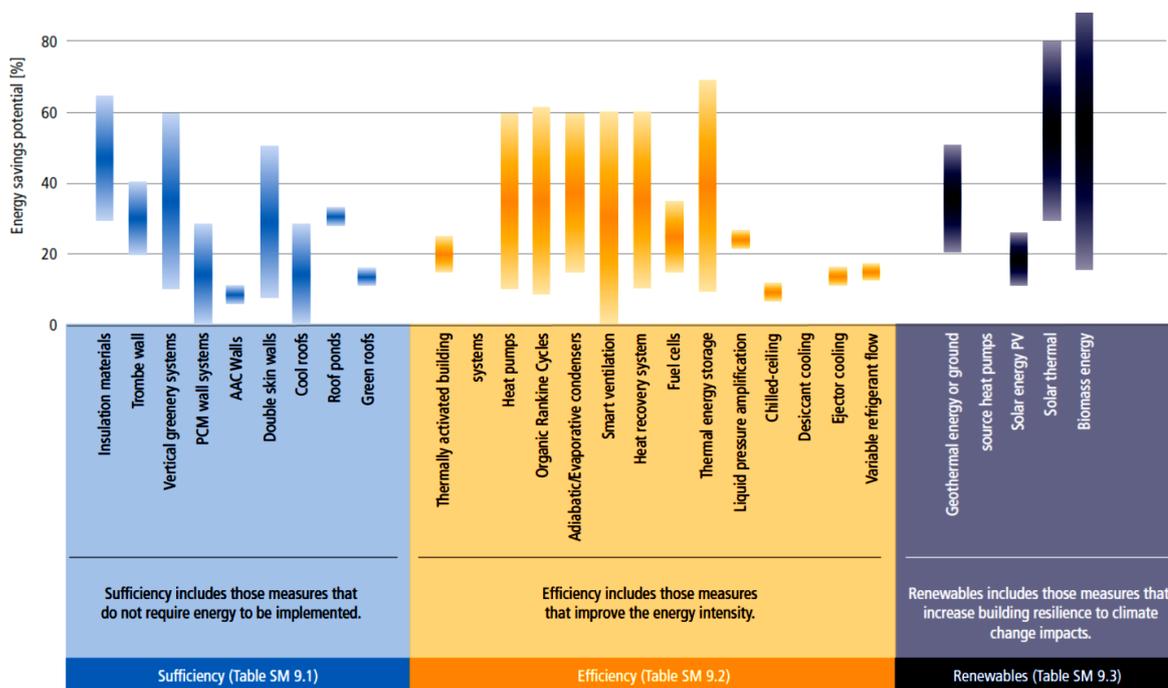
Ось x - gCO₂-экв. vkm⁻¹, при пробеге автомобиля за срок службы, равном 180 000 км. Вторичная ось x - gCO₂-экв./км⁻¹ при коэффициенте заполнения автомобиля 1,5. Заштрихованная область представляет собой межквартильный диапазон для комбинированных этапов производства автомобилей и этапов их эксплуатации. Длина прямоугольника и диапазон на линии представляют межквартильный диапазон, а их размещение на оси абсцисс – абсолютную климатическую интенсивность жизненного цикла, то есть включает этапы производства и окончания срока службы. Каждый отдельный маркер указывает точку данных.

Источник: Jaramillo, P., S. Kahn Ribeiro, P. Newman, S. Dhar, O.E. Diemuodeke, T. Kajino, D.S. Lee, S.B. Nugroho, X. Ou, A. Hammer Strømman, J. Whitehead, 2022: Transport. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.012

3.5 Здания

По зданиям анализ проведен для шести технологий: утепление оболочки зданий, ИТЦ, тепловые насосы, децентрализованное производство электроэнергии на фотоэлектрических установках, производство тепла на солнечных водоподогревателях и умный учет. В главе «Здания» Шестого Оценочного доклада Рабочей группы III МГЭИК⁴⁷ подробно рассмотрен большой перечень технологий снижения выбросов ПГ (рис. 3.3). По оценкам МЭА, основной вклад в снижение выбросов ПГ в зданиях внесет использование низкоуглеродных технологий в системах отопления, ГВС и пищевого приготовления. В России на эти процессы в 2021 году приходилось соответственно 58%, 9% и 8% суммарных прямых и косвенных выбросов ПГ, то есть в сумме – три четверти. Согласно оценкам МЭА, в отоплении основным трендом является его электрификация на основе использования электрических тепловых насосов для замены систем отопления на ископаемых видах топлива, а также прямое электроотопление в пассивных зданиях.

Рисунок 3.3 Потенциал энергосбережения технологических стратегий для смягчения последствий изменения климата в зданиях



Источник: Cabeza, L. F., Q. Bai, P. Bertoldi, J.M. Kihila, A.F.P. Lucena, É. Mata, S. Mirasgedis, A. Novikova, Y. Saheb, 2022: Buildings. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khouradajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.011.

⁴⁷ Cabeza, L. F., Q. Bai, P. Bertoldi, J.M. Kihila, A.F.P. Lucena, É. Mata, S. Mirasgedis, A. Novikova, Y. Saheb, 2022: Buildings. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khouradajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.011.

Для низкоуглеродной трансформации сектора зданий наибольшее значение имеет применение технологий утепления оболочки зданий, что позволяет заметно снизить расход энергии на отопление и охлаждение зданий. Основным трендом в регулировании повышения энергоэффективности зданий является введение в качестве стандарта для строительства новых зданий и капитального ремонта и реконструкции существующих зданий достижения параметров здания с почти нулевым потреблением энергии (*nearly zero energy building, NZEB*).⁴⁸ Другими важнейшими трендами стали: требование генерации энергии в самом здании или на прилегающем участке; введение нормативных требований по повышению энергоэффективности по итогам капитального ремонта или реконструкции существующих зданий; повышение внимания к контролю за выполнением нормативных требований; рост числа инструментов стимулирования повышения энергоэффективности и развития ВИЭ в зданиях; дополнение нынешней системы сертификатов класса энергоэффективности паспортом реконструкции здания.⁴⁹

Уровни, по которым здания относят к зданиям с почти нулевым энергопотреблением, устанавливаются каждым государством самостоятельно. Государства-члены ЕС должны разработать национальные планы по увеличению числа зданий с почти нулевым энергопотреблением. Китай принял национальный стандарт для зданий с почти нулевым потреблением энергии. Анализ реализованных проектов пассивных зданий показал, что в среднем по странам ЕС удельный расход первичной энергии на цели отопления варьирует в диапазоне от 15 (Дания) до 100 (Польша) кВт·ч/м². В северных странах ЕС для систем отопления, вентиляции и кондиционирования МКД порог удельного расхода первичной энергии равен 40 кВт·ч/м²/год в Дании, 46 кВт·ч/м²/год в Эстонии, 56 кВт·ч/м²/год в Финляндии, 66 кВт·ч/м²/год в Норвегии, 82 кВт·ч/м²/год в Швеции. Согласно Приказу № 399, эти уровни соответствуют российским зданиям в климатической зоне 3000-4000 ГСОП для классов энергоэффективности А, А+ и А++.

Волна реновации (*Renovation Wave*) была предложена Еврокомиссией в октябре 2020 года⁵⁰ с целью повысить как скорость, так и глубину ремонта к 2030 году. Для достижения целей углеродной нейтральности к 2030 году 70% проводимых ремонтов должны быть глубокими, а остальные 30% должны обеспечивать снижение потребления энергии на 40-60%.⁵¹ То есть доля средней и глубокой реновации должна вырасти с примерно 1% в год до 2%. Перед странами ЕС поставлена задача разработать долгосрочную стратегию реконструкции для фонда жилых и нежилых зданий.⁵² В долгосрочной стратегии каждой страны ЕС должна быть разработана дорожная карта с мерами реализации и определены индикаторы для

⁴⁸ Башмаков И.А., В.И. Башмаков, К.Б. Борисов, М.Г. Дзедзичек, А.А. Лунин, О.В. Лебедев и А.Д. Мышак. Потенциал экономии энергии в МКД России и возможности его реализации. Энергосбережение. № 5. 2023.

⁴⁹ Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast) 02010L0031 — EN — 01.01.2021 — 003. With modifications: [DIRECTIVE \(EU\) 2018/844 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, Text with EEA relevance of 30 May 2018](#); L 156 75 19.6.2018; [REGULATION \(EU\) 2018/1999 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December, 2018](#); [REGULATION \(EU\) 2018/1999 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December, 2018](#); MoHURD, 2019: Technical Standard for Nearly Zero Energy Building GB 51350-2019. China Architecture & Building Press, Beijing, China, 135 pp.; Feng, W. et al., 2019: A review of net zero energy buildings in hot and humid climates: Experience learned from 34 case study buildings. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 114 (June 2019), 109303, doi:10.1016/j.rser.2019.109303; Kurnitski J. 2021. NZEB developments and challenges in EU. June 11, 2021. REHVA Technology & Research Committee Chair, Tallinn University of Technology, Aalto-University.

⁵⁰ Renovation Wave, European Commission https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en (Accessed January, 2022).

⁵¹ Renovation Wave, European Commission https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en (Accessed January, 2022); Vandebussche T. Is the EU's building renovation wave 'fit for 55'? POLICY BRIEF. SUSTAINABLE PROSPERITY FOR EUROPE PROGRAMME. 30 JUNE, 2021.

⁵² RENOVATE2RECOVER: HOW TRANSFORMATIONAL ARE THE NATIONAL RECOVERY PLANS FOR BUILDINGS RENOVATION? www.renovate-europe.eu.

оценки прогресса в решении задачи снижения к 2050 году выбросов ПГ на 80-95% от уровня 1990 года. На практике доминирует пошаговая реконструкция с небольшой экономией первичной энергии за каждый шаг. Средний уровень энергетического обновления МКД с итогами, соответствующими «среднему ремонту» в ЕС, в последние годы был близок к 1,1%.

Значимый эффект может дать применение технологий регулирования подачи тепла и замещения ископаемого топлива электроэнергией (в т.ч. тепловые насосы) при отоплении зданий. Швеции удалось за счет применения этих технологий снизить выбросы ПГ от зданий на 95% с 1970 года. По оценкам МЭА, мощность тепловых насосов в мире может вырасти с нынешних 1000 до 6000 ГВт к 2050 году.⁵³ Они придут на замену топливным котлам, которые к определенному году запрещаются все в большем числе стран. В Германии начиная с 2024 года новые системы отопления должны работать от возобновляемых источников энергии как минимум на 65%. Это означает фактический запрет на использование котлов на ископаемом топливе. Такому критерию могут соответствовать только тепловые насосы и гибридные системы с тепловыми насосами, дополненные резервированием на ископаемом топливе, централизованное низкоуглеродное теплоснабжение и использование биомассы. Перечень отопительных низкоуглеродных технологий также включает подмешивание водорода в газовые сети, использование топливных элементов, биомассы, централизованное низкоуглеродное теплоснабжение (в зонах с плотной тепловой нагрузкой) от систем четвертого поколения. Утепление в пакете мер с тепловым насосом является важным условием экономии энергии. Для здания класса энергоэффективности G удельный расход энергии тепловым насосом может составлять 120 кВт·ч/м²/год, тогда как для здания класса энергоэффективности A++ – только 4-5 кВт·ч/м²/год.⁵⁴

Децентрализованная (на объектах потребителя) выработка электрической (фотоэлектрические панели) и тепловой (солнечные водоподогреватели) энергии и превращение потребителей в просьюмеров позволяют существенно снизить выбросы ПГ за счет сокращения потребности в централизованной энергии и ископаемом топливе. В 2021 году в мире установленная мощность распределенных солнечных фотоэлектрических установок составила 75 ГВт,⁵⁵ что только на 25 ГВт меньше, чем для централизованных систем, и в 2,5 раза больше мощности всех АЭС России. Собственная генерация широко используется в США, Китае, Австралии, Германии, Бразилии и других странах. В 2021 году мировой рынок солнечной тепловой энергии вырос на 3% (на 25,6 ГВт), и суммарная установленная мощность достигла 524 ГВт. Китай лидирует по числу новых установок, за ним следуют Индия, Турция, Бразилия и США.⁵⁶

Для обеспечения возможности эффективно управлять потреблением энергии и продавать ее избытки в сети нужен «умный учет». В ряде стран он становится обязательным требованием. Так, в домах Германии интеллектуальные счетчики электроэнергии должны стать стандартом. Все потребители с потреблением электроэнергии более 6000 кВтч/год и операторы собственной генерации на ВИЭ с установленной мощностью более 7 кВт обязаны устанавливать интеллектуальные счетчики с 2025 года. Закон также требует, чтобы все поставщики электроэнергии предлагали гибкие контракты с 2025 года.⁵⁷

⁵³ IEA. 2023. The future of heat pumps. World Energy Outlook Special Report. 2023.

⁵⁴ Там же.

⁵⁵ REN 21. RENEWABLES 2022. GLOBAL STATUS REPORT.

⁵⁶ Там же.

⁵⁷ [News \(eceec.org\)](https://www.eceec.org/).

3.6 Водород

В данной работе рассматриваются следующие технологии водородной энергетики: производство электролизеров и производство оборудования для транспорта и хранения водорода. Водород является крупным формирующимся рынком низкоуглеродной продукции. По разным оценкам, его производство может вырасти с 94 млн тонн в 2021 году⁵⁸ до 165-536 млн тонн в 2050 году.⁵⁹ Изначально Россия планировала достичь больших объемов экспорта водорода: 0,2 млн тонн в 2024 году, 2-12 млн тонн в 2035 году и 15-50 млн тонн в 2050 году. Затем уровень амбициозности заметно снизился. В сценарии 4D (ЦЭНЭФ-XXI) в 2060 году на внутреннее потребление приходится 0,5 млн т водорода и еще 0,7 млн т – на экспорт.⁶⁰ Значимый прогресс в производстве водорода важен больше для обеспечения новых источников экспортных доходов для России. Поэтому в данной работе оценивается в первую очередь потребность в водороде для собственных нужд по мере декарбонизации отдельных секторов при умеренных оценках возможных объемов экспорта. Сценарий с большими объемами экспорта водорода был рассмотрен в 2022 году (4F)⁶¹ и показал, что, даже если половина российского производства водорода в 2060 году (15,8 млн тонн) будет «голубой», дополнительная потребность в электроэнергии для его производства составит 350 млрд кВт-ч, или треть от нынешней выработки электроэнергии в России.

В России отсутствуют производители электролизеров промышленного назначения.⁶² Более 40% всех производимых сегодня электролизеров поступают из Китая. В мире установленная мощность электролизеров быстро растет. К концу 2021 года она достигла 510 мегаватт (МВт) за счет ввода 210 МВт в 2021 году, из которых 150 МВт пришлось на проект Ningxia Solar Hydrogen в Китае. К 2030 году установленная мощность электролизеров в мире может достичь 130 ГВт. BloombergNEF (исследовательская группа по экологически чистой энергии) считает, что к 2030 году мировое производство электролизеров вырастет в 91 раз, чтобы удовлетворить спрос.⁶³ К двум основным технологиям – проточный щелочной электролиз и электролизер с протонообменной мембраной (PEM) – добавляются новые: технология твердооксидного электролиза и электролизер на базе анионообменной мембраны, или матрицы (AEM). Именно такую технологию разработал Росатом.⁶⁴ Установки для парового риформинга (каталитической конверсии легких углеводородов в присутствии водяного пара) и пиролиза метана (разложение метана на водород и твердый углерод) имеются. В этих технологиях для получения низкоуглеродного водорода инновационной частью является блок CCUS. Водородная инфраструктура состоит из множества элементов, включая трубопроводы, компрессоры, грузовые автомобили, суда, заводы по сжижению и конверсии, резервуары и подземные хранилища. Часть проблем решена при транспортировке водорода на сравнительно короткие расстояния. Для более значительных расстояний может потребоваться компрессирование, сжижение или химическое связывание водорода. Опыт эксплуатации систем транспорта водорода на дальние расстояния (как в газообразном, так

⁵⁸ Из которых зеленый водород менее 1 млн тонн – в основном из ископаемого топлива с установками CCS. IEA. 2022. Global Hydrogen Review. 2022.

⁵⁹ IEA. World Energy Outlook. 2022; BP Energy Outlook 2050: January 2023; IRENA. World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi; Shell International Limited. 2023. The Energy Security Scenarios. Full report. [The Energy Security Scenarios | Shell Global](#); McKinsey & Company. 2022. Global Energy Perspective 2022. Executive Summary.

⁶⁰ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichuk, A. Lunin, I. Govor. 2022. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENef-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060>.

⁶¹ Там же.

⁶² [Электролизные установки \(centrotech.ru\)](#).

⁶³ [Китай нацелился на захват еще одного рынка зеленой энергии: водорода - Ведомости. Устойчивое развитие \(vedomosti.ru\)](#).

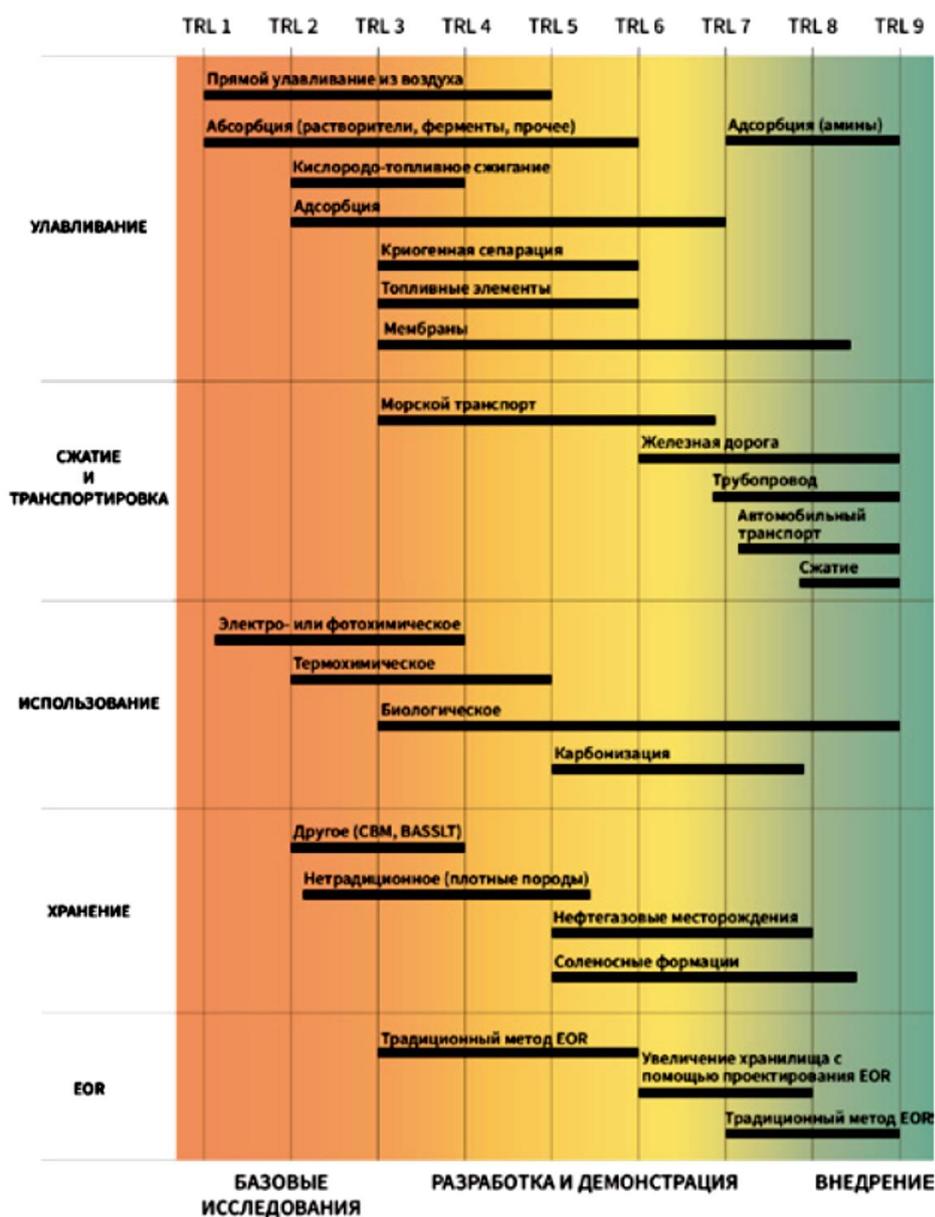
⁶⁴ [«Росатом» разработал электролизеры для производства водорода \(strana-rosatom.ru\)](#).

и сжиженном виде) в мире крайне ограничен, но есть опыт транспортировки и хранения аммиака.

3.7 CCUS

В данной работе рассмотрены следующие процессы применения технологии CCUS: улавливание CO₂, сжатие и транспортировка, хранение, использование, включая использование для повышения нефтеотдачи пластов. Практически во всех процессах уже существуют зрелые, коммерчески применяемые технологии, и многие технологии динамично продвигаются по шкале технологической готовности (рис. 3.4).

Рисунок 3.4 Уровень технологической готовности отдельных процессов системы CCUS



Источник: Natural Petroleum Council: Draft Summary Report, Meeting the Dual Challenge, A Roadmap to At-Scale Deployment of Carbon Capture, Use, and Storage, December 2019.

Применение технологии CCUS является важным условием достижения углеродной нейтральности как в мире в целом, так и для России. В сценариях МГЭИК⁶⁵ на CCUS в 2050 году приходится 5-15 ГтСО₂, а в сценарии углеродной нейтральности энергетического сектора МЭА⁶⁶ – 6 ГтСО₂. Для России достижение углеродной нейтральности к 2060 году требует использования CCS в объеме около 80 млн тонн в год.⁶⁷

3.8 Управление отходами

Существует широкий набор технологий декарбонизации в сфере управления отходами. Он включает: инновационные технологии сбора и сортировки отходов, извлечения из них металлов, стекла, бумаги, пластика и других материалов для вторичного использования; использование отходов или продуктов их переработки с высокой теплотворной способностью для производства топлива, тепла и электроэнергии; использование переработанных отходов в качестве удобрений и строительных материалов; и др. В данной работе технологии в этом секторе не рассматриваются, за исключением случаев использования отходов в промышленности (лома черных и цветных металлов, добавок к клинкеру и альтернативных топлив в цементной промышленности).

3.9 Сельское и лесное хозяйство

В секторе ЗИЗЛХ имеется значительный набор краткосрочных мер по снижению выбросов ПГ при сравнительно низких затратах, но этот сектор не может компенсировать отсроченное сокращение выбросов в других секторах.⁶⁸ ЗИЗЛХ может обеспечить 20–30% снижения выбросов, необходимого для удержания потепления в границах 1,5–2°C. Меры в лесном хозяйстве и в других природных экосистемах (защита, улучшенное управление и восстановление лесов, торфяников, прибрежных водно-болотных угодий, саванн и пастбищ) обеспечивают наибольший вклад (рис. 3.5). За ними следуют меры в сельском хозяйстве (управление углеродом в почве пастбищ, агролесоводство, использование биоугля, улучшение выращивания риса, повышение продуктивности животноводства, использование новых вакцин, ингибиторов, схем рационального использования питательных веществ удобрений и др.) и меры со стороны спроса (переход на устойчивое здоровое питание, сокращение пищевых отходов, строительство с использованием древесины и биохимических веществ, биотекстиль и др.).

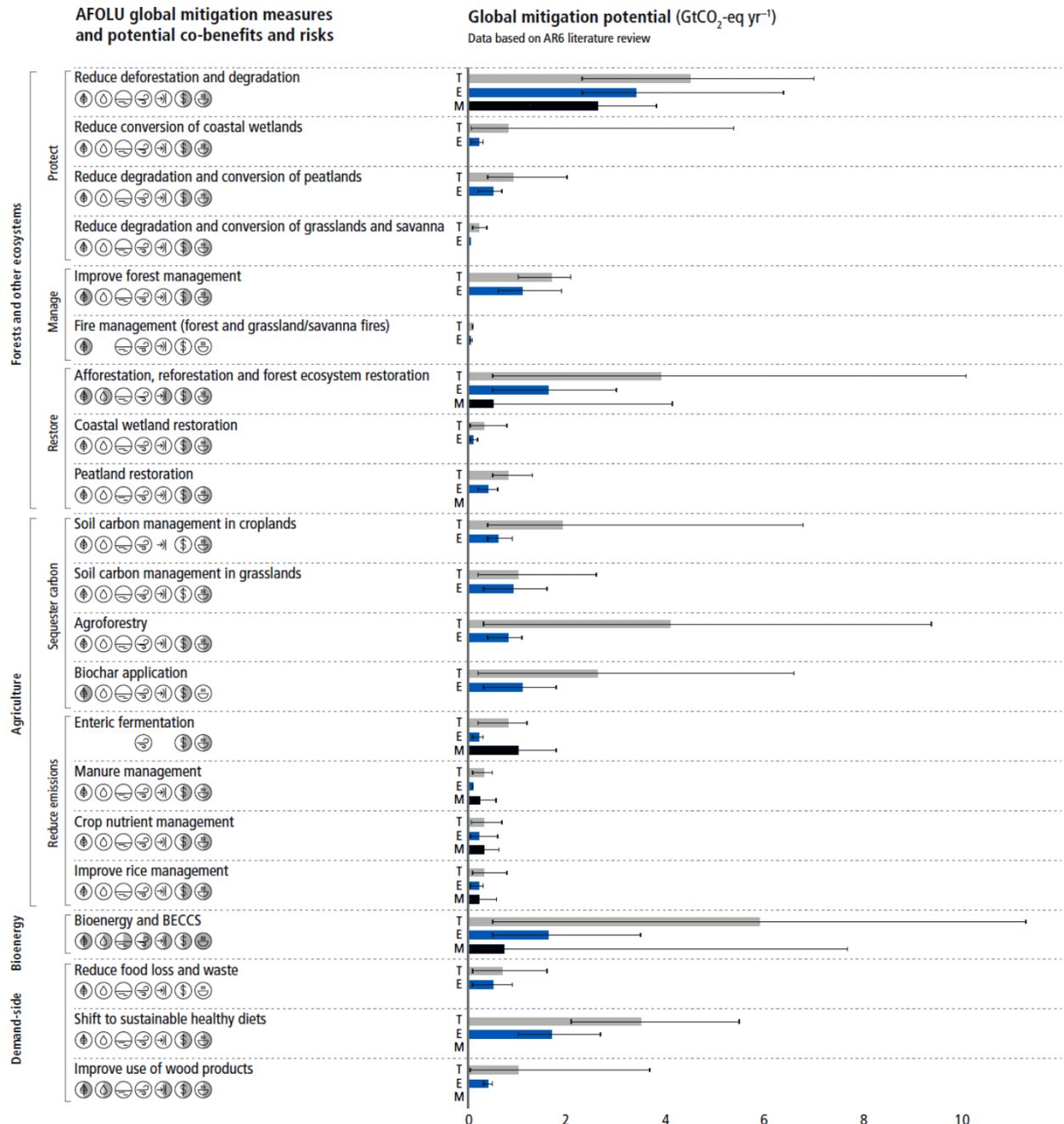
⁶⁵ Riahi, K., R. Schaeffer, J. Arango, K. Calvin, C. Guivarch, T. Hasegawa, K. Jiang, E. Kriegler, R. Matthews, G.P. Peters, A. Rao, S. Robertson, A.M. Sebbit, J. Steinberger, M. Tavoni, D.P. van Vuuren, 2022: Mitigation pathways compatible with long-term goals. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khouradajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.005.

⁶⁶ IEA. World Energy Outlook. 2022

⁶⁷ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichuk, A. Lunin, I. Govor. 2022. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENef-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060>

⁶⁸ Nabuurs, G-J., R. Mrabet, A. Abu Hatab, M. Bustamante, H. Clark, P. Havlín, J. House, C. Mbow, K.N. Ninan, A. Popp, S. Roe, B. Sohngen, S. Towprayoon, 2022: Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU). In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khouradajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.009

Рисунок 3.5 Глобальный потенциал снижения выбросов ПГ (ГтСО₂экв. год⁻¹) в 2020–2050 годах для 20 мер в секторе ЗИЗЛХ



Источник: Nabuurs, G.-J., R. Mrabet, A. Abu Hatab, M. Bustamante, H. Clark, P. Havlík, J. House, C. Mbow, K.N. Ninan, A. Popp, S. Roe, B. Sohngen, S. Towprayoon, 2022: Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU). In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khouradjaie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.009.

В данной работе технологии в секторе ЗИЗЛХ не рассматриваются. Во-первых, значительная часть этих технологий и мер уже доступна и готова к развертыванию. Во-вторых, в 2022 году в сценарии 4D было показано, что Россия может достичь углеродной нейтральности в 2060 году без увеличения чистого поглощения ЗИЗЛХ, которое может даже

снизиться с 605 МтСО₂ в 2020 году до 291 МтСО₂ в 2060 году.⁶⁹ Даже ограничение снижения стока такой величины – это задача непростая. В 2021 году нетто-сток в секторе ЗИЗЛХ снизился на 73 МтСО₂.⁷⁰

3.10 Перечень рассматриваемых технологий

По итогам проведенного выше анализа для дальнейшего исследования были отобраны следующие 27 технологий:

Энергетические системы:

- ВЭС
- СЭС
- АЭС
- сетевые системы накопления энергии

Промышленность:

- электродуговые печи
- производство железа прямого восстановления (DRI) с использованием водорода и применением CCUS
- применение сверхмощных электролизеров второго поколения PA-550, а также применение инертных анодов
- переход к сухому способу производства цемента для тех установок, где еще используется мокрый
- снижение клинкер-фактора за счет роста доли добавок к клинкеру
- повышение доли использования альтернативных топлив при производстве клинкера
- производство цемента с CCUS
- использование водорода, получаемого путем электролиза при производстве аммиака
- использование конверсии природного газа при производстве аммиака с оснащением технологией CCUS

Транспорт:

- электрификация легковых автомобилей
- электрификация автобусов
- производство электробатарей для автомобильного транспорта
- установка зарядных станций

Здания:

- утепление оболочки зданий
- установка ИТП

⁶⁹ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichek, A. Lunin, I. Govor. 2022. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENef-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060>

⁷⁰ Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990-2021 гг. М., 2023.

- тепловые насосы
- децентрализованное производство электроэнергии на фотоэлектрических установках
- производство тепла на солнечных водоподогревателях и умный учет

Водород:

- производство электролизеров
- производство оборудования для транспорта и хранения водорода

CCUS:

- улавливание CO₂
- сжатие и транспортировка CO₂
- хранение CO₂
- использование CO₂

4**Стратегия
низкоуглеродного
развития
и технологические
приоритеты**

«Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» (далее – Стратегия) была утверждена Распоряжением Правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р. В ней не задаются количественные ориентиры по развитию низкоуглеродных технологий, однако в разделах Технологическое развитие для инерционного и целевого сценариев на качественном уровне сформулированы приоритеты развития для некоторых из них. Ряд технологий также перечислены в разделе IV. Мероприятия по реализации Стратегии. Выделены следующие технологии:

Электро- теплоэнергетика:

- парогазовая генерация;
- атомные электростанции;
- гидроэлектростанции;
- возобновляемые источники энергии;
- угольная энергетика – полный переход на НДТ, замещение низкоэффективных котельных объектами когенерации, широкое применение технологий CCUS;
- повышение эффективности систем теплоснабжения;

Добыча нефти и газа:

- снижение фугитивных выбросов и применение технологий CCUS;
- повышение доли утилизации попутного газа;

Транспорт:

- электрификация транспорта, развитие зарядной инфраструктуры;
- развитие полномасштабной отрасли по производству комплектующего оборудования для автомобильных электротяговых станций и газонаполнительных компрессорных станций;
- строительство газомоторной и электротяговой инфраструктуры для различных категорий транспорта, обеспечение упрощенного доступа транспортных средств к топливу с более низким углеродным следом;

Промышленность:

- выход на параметры НДТ по ресурсо- и энергоэффективности;
- развитие производства железа прямого восстановления с использованием водорода;
- повышение доли производства первичного алюминия с помощью электролизеров с предварительно обожженными анодами второго поколения и переход на технологию электролиза с инертным анодом;
- сокращение производства цемента «мокрым» способом, замена ископаемого топлива на альтернативные виды топлива в цементной промышленности и рост использования вторичных ресурсов в качестве сырьевых компонентов;
- необходимая инфраструктура;

Здания:

- строительство новых зданий классов А, А+;
- оснащение зданий установками на ВИЭ (солнечные водоподогреватели, фотоэлектрические панели), тепловыми насосами, квартирными и общедомовыми утилизаторами теплоты;

Сельское хозяйство:

- применение удобрений с медленным высвобождением азота;
- развитие «точного» земледелия;
- производство биотоплива в животноводстве и растениеводстве, внедрение биогазовых комплексов в целях утилизации органических отходов;

Обращение с отходами:

- переход к разделительному сбору отходов;
- распространение технологий сбора свалочного газа и его использование в качестве топлива;
- распространение применения медленнодействующих минеральных удобрений;

ЗИЗЛХ:

- внедрение технологий, обеспечивающих совершенствование мер санитарной безопасности в лесах и ликвидации очагов вредных организмов;
- внедрение технологий, обеспечивающих повышение эффективности мер пожарной безопасности в лесах, предупреждения возникновения и распространения лесных пожаров;
- создание сети лесных селекционно-семеноводческих центров по выращиванию посадочного материала в субъектах Российской Федерации;

Общесекторные:

- цифровизация и электрификация отраслей экономики;
- развитие производств новых видов энергоносителей, в том числе водорода, «зеленого» аммиака, биодизеля из древесного сырья для использования в дизельных двигателях и биометана для использования в газотранспортной инфраструктуре; использование новых энергоносителей, включая водород и биодизель;
- создание водородно-производственных комплексов, организация цепочек поставок водорода на внешний и внутренний рынки;
- разработка и внедрение технологий улавливания, захоронения и дальнейшего использования углекислого газа и метана, а также создание соответствующей инфраструктуры, инжиниринга и производства необходимого оборудования;

- внедрение малоотходных технологий;
- переход к экономике замкнутого цикла.

В Стратегии нет оценок того, насколько масштабирование применения этих технологий позволит снизить выбросы ПГ. Из приведенного списка видно, что приоритет отдается технологиям генерации электроэнергии. Технологии для транспорта, промышленности и зданий описаны очень обобщенно. При новом строительстве здания должны выйти только на уровень класса А+, но не А++. При этом в нормировании существует тенденция ослабления: при присвоении классов энергоэффективности требования снижаются.⁷¹

Целевых параметров по уровню локализации низкоуглеродного оборудования и технологий в Стратегии нет. В ней также нет ориентиров по масштабам применения этих технологий, равно как нет и оценок снижения выбросов ПГ по итогам их применения. Поэтому Стратегия не может служить базой для оценки перспектив их использования до 2060 г. К тому же ее горизонт заканчивается в 2050 г.

⁷¹ Башмаков И.А. и К.Б. Борисов. Об определении классов энергоэффективности многоквартирных жилых домов. Предложения по изменению действующей и новой методик расчета. Энергосбережение. № 2. 2023.

5**Низкоуглеродные
технологии
и приоритеты
политики
технологического
суверенитета**

Задача внедрения низкоуглеродных технологий для достижения углеродной нейтральности в 2022 г. ушла в тень решения другой задачи – обеспечения технологического суверенитета. Цель достижения полной технической независимости от Запада была впервые поставлена 90 лет назад (рис. 5.1). На протяжении этих 90 лет наблюдались циклические колебания на пути к ее решению без явного позитивного тренда. Последние два десятилетия в России были отравлены обильным притоком нефтедолларов и потому потеряны с точки зрения диверсификации экономики и импортозамещения. Зависимость от ряда западных стран сейчас сменяется более опасной зависимостью от единственной восточной страны – Китая. Китай стал ключевым партнером России, на его долю приходится более 27% совокупного импорта в 2022 г. Эта доля будет расти по мере продвижения России «далее на Восток».⁷²

Рисунок 5.1 Плакат начала 1930-х годов



Источник: Цухло С.В. Российская промышленность в марте 2022 – феврале 2023 гг. Итоги 12 месяцев «санкционной войны». Институт экономической политики им. Е.Т. Гайдара. 28 марта 2023 года.

Государственная программа Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» отмечает в качестве недостатка «размытость процесса проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ». К сожалению, решения правительства последних лет в отношении развития низкоуглеродных технологий не устраняют этот недостаток. В последние годы российское правительство приняло ряд нормативных актов в отношении технологического суверенитета, в определенной степени отражающих готовность развивать низкоуглеродные технологии. 15 апреля 2023 г. было принято Постановление правительства № 603 «Об утверждении приоритетных направлений проектов технологического суверенитета и проектов структурной адаптации экономики Российской Федерации и Положения об условиях отнесения проектов к проектам технологического суверенитета и проектам структурной адаптации экономики Российской Федерации, о представлении сведений о проектах технологического суверенитета и проектах структурной адаптации экономики Российской Федерации и ведении реестра указанных проектов, а также о требованиях к организациям, уполномоченным представлять заключения о соответствии проектов требованиям к проектам технологического суверенитета и проектам структурной адаптации экономики Российской Федерации».

⁷² Bashmakov I. 2023. Russia's foreign trade, economic growth, and decarbonisation. Long-term vision. https://cenef-xxi.ru/uploads/Policy_paper_0b89e06980.pdf.

В этом постановлении нет целевых установок в отношении масштабов производства технологий. В нем определен список из сотен технологий, которые должны позволить достичь технологического суверенитета. Из этого списка можно выделить технологии, которые позволяют снижать выбросы ПП:

Автомобили:

- Производство электромобилей, роботизированных платформ на электрическом приводе и других транспортных систем на основе использования альтернативных источников питания (водородном топливе и др.), в том числе беспилотных
- Тяговые электрические двигатели
- Электродвигатели и генераторы постоянного тока

Энергоэффективность:

- Частотные преобразователи
- Светодиоды

Системы аккумулирования энергии:

- Производство систем накопления и хранения электрической энергии
- Элементы первичные и батареи первичных элементов
- Аккумуляторы электрические и их части
- Катодный порошок для высокочемких аккумуляторов
- Анодный порошок
- Зарядные станции для электрического транспорта, в том числе беспроводные

Производство оборудования для водородной энергетики:

- Емкости для хранения и транспортировки водорода
- Энергетические установки на водородных топливных элементах
- Системы ожижения водорода
- Генератор водорода
- Водородные заправочные станции
- Контейнеры-цистерны для жидкого водорода
- Прицепы и полуприцепы для жидкого водорода
- Железнодорожные цистерны для жидкого водорода
- Строительство электростанций для генерации на водородном топливе

Производство составляющих для атомной энергетики:

- Установки и оборудование для атомных электростанций
- Оборудование технологическое специальное для объектов использования атомной энергии
- Элементы для атомной энергетики, изотопы и их соединения радиоактивные
- Сборки тепловыделяющие и их элементы
- Установки ядерные, в том числе ядерные реакторы, кроме устройств разделения изотопов

- Парогенераторы, системы трубные и узлы парогенераторов судовых ядерных установок
- Оборудование эксплуатационное для ядерных установок
- Оборудование технологическое специальное для объектов использования атомной энергии
- Производство оборудования для автоматизированных систем управления технологическим процессом атомных электростанций и его частей

ВИЭ:

- Строительство электростанций для генерации на возобновляемых источниках энергии, в том числе солнечных, ветровых, геотермальных
- Гидравлические и ветряные турбины мощностью 35 МВт и более

Тепловая электроэнергетика:

- Газовые и паровые турбины мощностью 35 МВт и более
- Производство паровых котлов и их частей

Электрические сети:

- Производство проводников, кабелей, арматуры и другого оборудования

Управление отходами:

- Производство роботов для сортировки твердых коммунальных отходов с функцией распознавания объектов при помощи искусственного интеллекта
- Производство сепараторов для твердых коммунальных отходов
- Оборудование для линий компостирования органических, пищевых и иных отходов растительного и животного происхождения
- Оборудование для линий утилизации полимерных отходов
- Оборудование для линий утилизации макулатуры
- Оборудование для линий утилизации отходов из стекла
- Оборудование для линий утилизации отработанных автомобильных шин и отходов резины
- Оборудование для линий утилизации отходов нефтепродуктов (отработанных масел)
- Оборудование для утилизации углеродсодержащих отходов методом пиролиза.

Во всех последних программных документах в составе низкоуглеродных технологий предпочтение отдается развитию АЭС, водородной энергетики, производству электромобилей и систем хранения энергии. Как видно из приведенного выше списка, в нем доминируют технологии атомной и водородной энергетики, электромобилей, систем хранения электроэнергии и управления отходами. В отношении ВИЭ формулировка – строительство электростанций, а в отношении производства оборудования для ВИЭ постановление ограничивается только турбинами мощностью свыше 35 МВт. Производство оборудования меньшей мощности и других компонентов ВИЭ в перечень проектов технологического суверенитета не попали. В этом перечне значительную роль играют технологии производства и транспорта нефти, газа и СПГ.

Четких параметров уровня государственной поддержки в Постановлении нет. Решения о ее предоставлении принимается на основании заключений экспертных организаций или

Межведомственной комиссией. Возможная причина – нехватка средств бюджета на такую поддержку. Оператором этой схемы является государственная корпорация развития «ВЭБ.РФ». Поддержка распространяется на продукцию, соответствующую положениям Постановления Правительства РФ от 17 июля 2015 г. № 719 «*О подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации*». Критериями подтверждения производства промышленной продукции на территории РФ являются: наличие специального инвестиционного контракта, наличие акта экспертизы Торгово-промышленной палаты РФ и сертификата о происхождении товара (продукции), по которому Российская Федерация является страной происхождения товара (продукции).

Ранее постановлением Правительства РФ от 29 марта 2019 г. № 377 была утверждена государственная программа Российской Федерации «*Научно-технологическое развитие Российской Федерации*», включающая следующие целевые индикаторы к 2030 г.:

- Выйти на 7 место в мировом рейтинге по объему научных исследований и разработок (29 место в 2018 г. и 29 место в 2022 г.⁷³);
- Повысить долю внутренних затрат на исследования и разработки в ВВП до 1,64% (Россия – 1,04% в 2019 г. и 1,1% в 2020 г., США – 3,07%, КНР – 2,23%);
- Добиться, чтобы экспорт технологий и услуг технологического характера превысил их импорт и достиг пропорции 1,15 (экспорт высокотехнологичной продукции из России в 2018 г. составил только 10 млрд. долл. США).

Направлениями этой программы, которые можно отнести к низкоуглеродному развитию, можно считать:

- энергетические технологии – распределенные интеллектуальные энергосистемы, новые технологии генерации, включая технологии атомной и термоядерной энергетики, инновационные способы передачи электроэнергии, новые и портативные источники энергии, в том числе возобновляемые;
- технологии производства и использования новых материалов и веществ, включая редкие и редкоземельные материалы, полимерные композитные материалы, аддитивные технологии;
- технологии для экологически чистой и ресурсосберегающей энергетики, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии;
- технологии высокопродуктивного и экологически чистого агро- и аквахозяйства, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания.

Для стимулирования НИОКР в этой Программе приняты *Правила предоставления и распределения субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации* и *Правила проведения конкурсного отбора мероприятий, способствующих реализации инновационных проектов, направленных на создание и развитие производства высокотехнологичной промышленной продукции и (или) инновационных товаров и услуг*. Затраты на программу равны 4,7 трлн руб., из которых 3,7 трлн руб. – средства бюджета.⁷⁴

По данным рейтинга Global Innovation Index, в 2022 г. Россия находилась на 47 месте. По составляющим этого индекса Россия занимала: Institutions – 89 место; Human capital and research – 29; Infrastructure – 69; Market sophistication – 48; Business sophistication – 44;

⁷³ По данным текста государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации».

⁷⁴ [47_2023_Научно-технологическое_развитие_Российской_Федерации.pdf](#).

Knowledge and technology outputs – 51; Creative outputs – 48 место.⁷⁵ Выйти в мировом рейтинге по объему научных исследований и разработок на 7 место – это задача, по-видимому, в срок до 2030 г. не решаемая. Нельзя купить время. Но даже если это было бы возможно, то главная проблема России – в низком уровне коммерциализации разработок (*Knowledge and technology outputs* и *Creative outputs*). Указанная программа эту проблему не решает.

В Указе Президента РФ «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений» (с изменениями на 6 июня 2022 года) было поручено в 6-месячный срок разработать и утвердить *Федеральную научно-техническую программу в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 годы*, предусматривающую создание наукоемких технологических решений, направленных на обеспечение устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов ПГ за счет проведения исследований источников и поглотителей ПГ и реализации мер по снижению негативного воздействия ПГ. Финансирование этих мероприятий должно обеспечиваться за счет бюджетных ассигнований, предусмотренных в федеральном бюджете на реализацию других государственных программ Российской Федерации «Охрана окружающей среды», «Воспроизводство и использование природных ресурсов», «Развитие лесного хозяйства», «Научно-технологическое развитие Российской Федерации», «Развитие образования», «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности», Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, а также за счет ассигнований бюджетов субъектов РФ и средств внебюджетных источников. Эта программа не предусматривает развития технологий снижения выбросов. В части контроля за выбросами ПГ она ограничивается разработкой экономико-математических моделей для оценки социально-экономических и эколого-климатических эффектов реализуемых и планируемых мер климатической политики применительно к экономике в целом и отдельных секторов.⁷⁶ В России такие модели уже есть.⁷⁷ Неясно, что нового смогут создать участники этой программы.

В разработанном в 2022 г. *Плане мероприятий (операционный план) реализации стратегии социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов* определены параметры развития отдельных низкоуглеродных технологий до 2030 г. По водороду и CCUS он включает следующие индикаторы:

- Доля рынка международной торговли водородом – 20%;
- Объем потребления низкоуглеродного водорода – 160 тыс. тонн;
- Количество реализуемых пилотных проектов водородной энергетики – 15 ед.;
- Создание опытных и пилотных установок, образцов материалов и катализаторов – 20 ед.;
- Создание опытных образцов оборудования для типовых проектов производства и применения водорода – 10 ед.;

⁷⁵ [Global Innovation Index 2022: What is the future of innovation-driven growth? \(wipo.int\)](https://www.wipo.int/pressroom/ru/2022/01/global-innovation-index-2022-what-is-the-future-of-innovation-driven-growth/).

⁷⁶ [wJgekXcVWebxcQmGATo4C8EHE2ZFjBh9.pdf \(science.gov.ru\)](https://www.science.gov.ru/wJgekXcVWebxcQmGATo4C8EHE2ZFjBh9.pdf)

⁷⁷ Bashmakov I. 2022. The angle of incidence is not equal to the angle of reflection. April 2022. [CENef-XXI](https://cenef-xxi.ru/articles/russia-s-carbon-neutrality-pathways-to-2060/); Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichuk, A. Lunin, I. Govor. 2022a. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENef-XXI. [https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality-pathways-to-2060/](https://cenef-xxi.ru/articles/russia-s-carbon-neutrality-pathways-to-2060/); Bashmakov I., M. Dzedzichuk, A. Myshak, V. Bashmakov. 2022. Sanctions and CBAM: Implications for the Russian industry. CENef – XXI. [New CBAM paper1_d679407855.pdf \(cenef-xxi.ru\)](https://cenef-xxi.ru/articles/new-cbam-paper1-d679407855.pdf); Прогноз развития энергетики мира и России 2016 / под ред. А.А. Макарова, Л.М. Григорьева, Т.А. Митровой; ИНЭИ РАН–АЦ при Правительстве РФ – Москва, 2016.

- Создание серийного производства линейки промышленной продукции, необходимой для типовых проектов производства и применения водорода – 10 ед.;
- Количество испытательных полигонов водородной энергетики – 2 ед.;
- Количество водородных заправок – 1000 шт.;
- Объем привлеченных частных инвестиций – 9 млрд USD;
- Объем привлеченных иностранных инвестиций – 2 млрд USD;
- Количество созданных технологических партнерств с зарубежными компаниями – 5 ед.;
- Количество реализуемых пилотных проектов CCUS – 2 шт.;
- Суммарная мощность пилотных проектов CCUS – 2 млн тCO₂/год.

Кроме того, в этом Плане определены задачи по:

- обеспечению создания опытного полигона геологического захоронения и мониторинга уловленного CO₂ на объектах производства низкоуглеродного водорода (и/или аммиака) по технологии газификации энергетического и коксующегося угля;
- модернизация действующих атомных энергоблоков и строительство новых атомных электростанций;
- развитие малой атомной генерации, разработка реакторов и ядерного топлива для замкнутого цикла;
- формирование нормативно-правовой базы, обеспечивающей создание условий для развития ГАЭС на основе рыночной модели функционирования;
- развитие ВИЭ;
- повышение эффективности электросетевого комплекса.
- выработка предложений по перечню механизмов, направленных на стимулирование развития ГЭС.

Многие положения этого плана направлены на создание нормативной базы применения этих технологий, а не на их развитие и стимулирование их масштабирования. Например, в этом плане доля ВИЭ ограничена 2% в 2030 г. и 13% в 2050 г., а суммарно доля нетопливных источников (ГЭС, ВИЭ и АЭС) снижается с 40% в 2020 г. до 34% в 2030 г. и только затем растет до 56% в 2050 г. То есть к 2030 г. в нем топливная генерация вытесняет нетопливную – это странный элемент *стратегии социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов.*

6**Нынешние
масштабы
внедрения
низкоуглеродных
технологий
и уровень
их локализации**

6.1 Электро-и теплоэнергетика

АЭС. Атомная отрасль России – это комплексы предприятий ядерного топливного цикла, атомного машиностроения, ядерного оружейного комплекса и отраслевые научно-исследовательские институты. В России эксплуатируются 11 АЭС (37 энергоблоков (включая два реактора плавучей атомной теплоэлектростанции) установленной мощностью 29,5 ГВт) и строятся еще 3 АЭС. АЭС вырабатывают пятую часть всей электроэнергии.⁷⁸ Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1 АЭС

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	Объемы ежегодного ввода в 2015-2022 гг. – 930 МВт , установленная мощность – 29,5 ГВт, объем генерации электроэнергии в 2022 году – 224 млрд кВт-ч, а тепловой энергии – 3,7 млн Гкал.
2	Затраты на реализацию технологии	Для новых блоков на АЭС – 2000-3450 долл./кВт , при строительстве новых АЭС за рубежом – 4100 долл./кВт (Hanhikivi, Финляндия) и 7605 долл./кВт (Аккую, Турция). ⁷⁹ Приведенные затраты на единицу производства электроэнергии (ЛСОЕ) в 2021 году превышают 0,043 долл./кВт-ч. Данные о CAPEX и OPEX российских АЭС в открытых источниках противоречивы. В основном, из-за особенностей схемы и способа учета затрат они ниже, чем для многих прочих стран мира. ⁸⁰
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на одиннадцатом уровне готовности: имеется развитая производственная и эксплуатационная инфраструктура; стабильный рост производства.
4	Масштабы производства в России	Объем выработки электроэнергии на АЭС в России в 2022 году – 223,7 млрд кВт-ч. Производство оборудования достаточно для ввода 1-2 ГВт в год.
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации близок к 98-100%. Росатом обладает компетенциями во всей технологической цепочке ядерного топливного цикла от добычи природного урана до завершающей стадии жизненного цикла атомных объектов. По данным Росатома, зависимость российских АЭС от иностранных производителей составляет 0,5%, в ближайшее время она будет полностью покрываться отечественной продукцией.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Росатом обладает полным перечнем необходимой инфраструктуры для проектирования, производства и обслуживания своего технологического оборудования и управления всеми звеньями ядерного цикла.
7	Масштабы и источники возможного импорта	Доля импорта в закупках «Росатома» невелика. Поставщики и составляющие импорта не раскрываются.
8	Перспективы экспорта	Росатом занимает лидирующее место в мире по величине портфеля заказов на сооружение АЭС: на разной стадии реализации находятся 33 энергоблока в 10 странах. Портфель зарубежных заказов в 2023 г. включает 33 блока на разных стадиях реализации в 10 странах: «Аккую» (Турция), «Куданкулам» (Индия), "Пакш-2" (Венгрия), «Руппур» (Бангладеш), «Сюйдапу» (Китай), «Тяньвань» (Китай), «Эль Дабаа» (Египет).

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

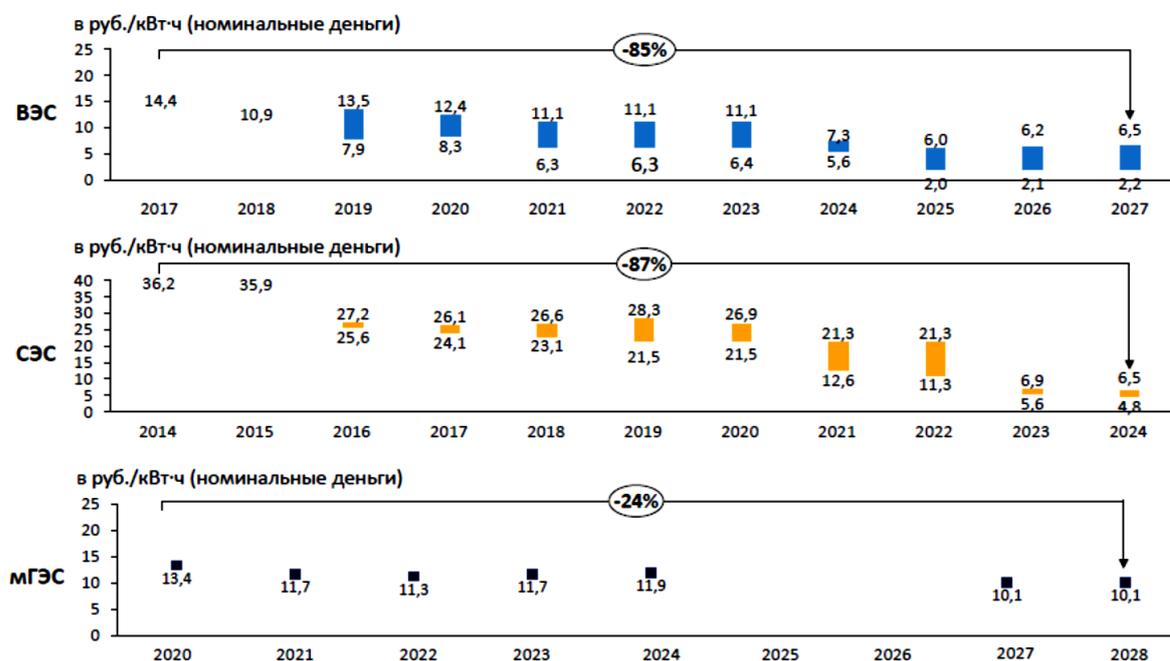
⁷⁸ [Росатом Госкорпорация «Росатом» ядерные технологии атомная энергетика АЭС ядерная медицина \(rosatom.ru\)](https://rosatom.ru).

⁷⁹ Малинина Т.В. и С.Д. Чишко. Сравнительная оценка эффективности АЭС и КЭС в электроэнергетике. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. Том 10, № 1, 2017 DOI: 10.18721/JE.1010707_malinina_chishko.pdf (spbstu.ru).

⁸⁰ В российской практике принято определять CAPEX второго уровня, в то время как за рубежом используется значение для четвертого уровня; существует значительная разница в требуемых капиталовложениях для новой электростанции по сравнению с новым энергоблоком на уже работающей; в России ниже стоимость труда. Традиционный подход к оценке эффективности показывает, что КЭС с ПГУ предпочтительнее АЭС. При учете экстерналий, связанных с воздействием на окружающую среду, АЭС и КЭС становятся сопоставимы. См. Малинина Т.В. и С.Д. Чишко. Сравнительная оценка эффективности АЭС и КЭС в электроэнергетике. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. Том 10, № 1, 2017 DOI: 10.18721/JE.1010707_malinina_chishko.pdf (spbstu.ru).

Ветровые электростанции. В последние три года (2020-2022) на долю ВЭС приходится 21-45% (500-859 МВт) всего прироста электрической мощности в системе централизованного электроснабжения России. Среднегодовой ввод мощности в эти годы превышал вводы мощностей на АЭС и КЭС. Этому способствовали как реализация программы поддержки развития сетевых ВИЭ (ДПМ 0.2), так и выход ВЭС на ценовой сетевой паритет с тепловой генерацией в период до 2027 года (рис. 6.1). По отдельным проектам одноставочная цена оказалась ниже 1,75 руб./кВт-ч, что ниже цены на оптовом рынке, не говоря уже о ценах от новых источников генерации на КЭС и АЭС. Ветрогенерация уже стала самым дешевым источником электроэнергии в России.⁸¹ Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.2.

Рисунок 6.1 Диапазон одноставочных цен ВИЭ-генерации (по результатам ОПВ ДПМ ВИЭ)



Источник: АРВЭ. Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития. Информационный бюллетень, июль 2022. Бюллетень Интерактивный 2022 (1).pdf.

⁸¹ АРВЭ. Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития. Информационный бюллетень, июль 2022. Бюллетень Интерактивный 2022 (1).pdf.

Таблица 6.2 ВЭС

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	Объемы ежегодного ввода в 2015-2022 годах – 287 МВт. Объем выработки электроэнергии на ВЭС в России в 2022 году – 4,2 млрд кВт-ч. Установленная мощность ВЭС в России в 2022 году выросла в 1,6 раза до 2298 МВт. В 2022 году было установлено 75 ВЭУ мощностью 230 МВт. Еще 325 ВЭУ находятся на разных стадиях строительства. По причинам дефицита оборудования в связи с уходом с рынка иностранных компаний было заморожено 286,1 МВт строящихся мощностей.
2	Затраты на реализацию технологии	ВЭС вышли на ценовой паритет с тепловой генерацией. Приведенные затраты на единицу производства электроэнергии (LCOE) в 2021 году – 0,036 долл./кВт-ч. По отборам 2021 года минимальный одноставочный тариф – 1,72 руб./кВт-ч, по отборам 2023 года – 4,2 руб./кВт-ч.
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на десятом - одиннадцатом уровне готовности: Коммерческая эксплуатация: решение коммерчески доступно, требует улучшений, чтобы оставаться конкурентоспособным.
4	Масштабы производства в России	В Таганроге на заводе «Красный Котельщик» организовано производство башен для ветряных электростанций с проектной мощностью 100 трёх- и четырехсекционных башен в год. Масса каждой из них – 190 т, высота — около 85 м, диаметр — 4,3 м (150-200 МВт в год). «ВетроСтройДеталь» также выпускает модульные стальные башни для ВЭС. Проектная мощность – 120 башен высотой 95 и 110 м в год (до 500 МВт в год). Оборудование позволяет производить башни высотой более 130 м. АО «НоваВинд» (дивизион Росатома) организовало собственное производство генераторов и гондол безредукторной ВЭУ LP2 L100-2,5 МВт серийной мощностью 120 комплектов (300 МВт в год) и освоило производство генераторов и статоров (самых сложных частей ветроэнергетической установки). Запуск производства намечен на 2025 год; предполагается полный отказ от лопастей индийской компании LM, принадлежащей GE. Ежегодно предприятие будет выпускать 360-380 лопастей длиной 51 м. Средне-Невский судостроительный завод (Ленинградская область) поставляет в Волгодонск композитные кожухи гондол, ступиц и обтекателей (300-500 МВт в год).
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации ВЭС, вводимых в последние несколько лет, достигает 55-68%.⁸² Ожидается, что Россия сможет полностью локализовать производство оборудования для ветряной энергетики в течение 2-3 лет. РАВИ провела исследование российской промышленности, изучила более 500 предприятий и выяснила, что все детали и компоненты ВЭС ультрамегаваттного класса могут производиться в России. В проект «Ветроэнергетика» Росатома уже вошло более 70 российских компаний. Кожух гондолы, каркас гондолы, ламинация для ротора и статора уже производятся в России. V&V Industries ведет разработки в части импортозамещения компонентов ВЭУ. Компания формирует перечень производителей компонентов ВЭС с целью создать к 2025 году полностью локализованную национальную турбину 4-5 МВт и к 2027 году вывести ее на рынок. В 2027 году на территории России будет запущено крупнотоннажное производство постоянных редкоземельных магнитов полного цикла ⁸³ мощностью 1000 т с возможностью ее увеличения до 2000 т к 2030 году. Цель проекта – полное и бесперебойное обеспечение высокотехнологичных отечественных предприятий качественной магнитной продукцией для выполнения задач по развитию российской ветроэнергетической и машиностроительной (включая автомобилестроение) отраслей.

⁸² <https://www.eprussia.ru/market-and-analytics/6655862.htm?ysclid=livgdgww7i808223936>.

⁸³ Наиболее часто используемыми редкоземельными металлами, применяемыми в магнитах, являются неодим и самарий.

№	Метрика	Описание
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Создана вся инфраструктура по производству, монтажу и обслуживанию ВЭС. «Ассоциация ветроиндустрии» объединяет все заинтересованные стороны для обеспечения поддержки рынка ветровой энергии. Сотрудники организации оказывают ряд специализированных услуг для заказчиков оборудования и других участников рынка.
7	Масштабы и источники возможного импорта	На долю импорта в 2021-2022 годах приходилось примерно 30% ввода мощностей ВЭС. Компании Vestas и Siemens полностью закрыли производство компонентов ВЭУ в России и отказались от обязательств по техническому обслуживанию и реализации проектов строительства ВЭС в России. ПАО «Татнефть» в настоящее время ведет переговоры о покупке технологии производства полного цикла ВЭС в Китае мощностью 4-5 МВт. Серийное производство планируется запустить в 2026-2027 годах. И лишь небольшая часть оборудования пока приходит из-за границы от компаний «ТиссенКруп», нидерландской Lagerwey и немецкой Enercon. Сейчас производятся ветрогенераторы мощностью 2,5 МВт.
8	Перспективы экспорта	В 2020 году Россия начала экспортировать лопасти для ветроустановок в Данию.⁸⁴ Для сетевых ВЭС в рамках второго этапа программы поддержки (ДПМ ВИЭ 2.0) внедрены целевые показатели экспорта и штрафы за их недостижение. Для ВЭС целевой показатель на 2025 год равен 20%, а на 2031-2035 годы – 60%. ⁸⁵ Это означает, что не весь объем производства должен быть предназначен для внутреннего рынка. Наиболее перспективными рынками сбыта могут стать страны Средней Азии и Закавказья. Свою заинтересованность в закупках ветроустановок из России демонстрируют Вьетнам и Индия.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Солнечные электростанции. В 2020-2021 годах на долю СЭС приходилось 11- 29% (276-364 МВт) всего прироста электрической мощности в системе централизованного электроснабжения России. Этому способствовали реализация программы поддержки развития сетевых ВИЭ (ДПМ 0.2) и даже более значительное, чем для ВЭС, снижение одноставочных цен СЭС-генерации (рис. 6.1). Цены уже достигли паритета на розничных рынках электроэнергии и в начале 2030-х годов можно ожидать выхода на ценовой паритет на оптовом рынке. По информации Минэнерго, рентабельны все установленные СЭС, в том числе в регионах, где сравнительно мало солнечных дней.⁸⁶ В России удельная выработка на 1 кВт мощности варьирует от 800 кВт-ч в год в Мурманске до 1500 кВт-ч в год в Забайкальском крае.⁸⁷ В таких российских городах, как Тула, Воронеж, Самара, Челябинск, Омск, Новосибирск, Красноярск, профессионально спроектированная солнечная электростанция с правильным углом наклона модулей и качественным оборудованием выдает 1150 кВт-ч/кВт (КИУМ — 12,5%). В Краснодаре или Сочи КИУМ равен 14,8%, что сопоставимо с Болгарией, севером Италии, Францией. В Астрахани КИУМ СЭС «Заводская» составляет 16%. Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.3.

⁸⁴ <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2020/04/14/828030-rossiya-nachala-lopasti>

⁸⁵ Определяется как отношение выручки от экспорта промышленной продукции, приходящейся на генерирующий объект, к величине, равной произведению планового годового объема производства электрической энергии и показателя эффективности генерирующего объекта. Экспортная выручка определяется в рублевом выражении как совокупный доход от экспорта промышленной продукции и (или) работ (услуг), выполняемых (оказываемых) при проектировании, строительстве и монтаже СЭС. АРВЭ. Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития. Информационный бюллетень, июль 2022. Бюллетень Интерактивный 2022 (1).pdf.

⁸⁶ [ТАСС \(tass.ru\)](https://tass.ru).

⁸⁷ https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2022/8/1050/?ysclid=liwvbtvrpj236117444.

Таблица 6.3 СЭС

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	Объемы ежегодного ввода сетевых СЭС в 2015-2022 годах – 229 МВт. Объем выработки электроэнергии на них в 2022 г. – 2,4 млрд кВт-ч, а их установленная мощность – 2,1 ГВт. Около 70% всех производимых компанией «Хевел» СФЭУ идет на строительство крупных СЭС (от 1 до 100 МВт) в России и Казахстане. Около 20% приходится на децентрализованные СЭС небольшой мощности (15–200 кВт) для бизнеса, инфраструктурных и промышленных объектов и сельского хозяйства. Оставшиеся 10% покупают владельцы частных домов и индивидуальные предприниматели, а также идет на экспорт в зарубежные страны, прежде всего в страны Азии.
2	Затраты на реализацию технологии	Приведенные затраты на единицу производства электроэнергии (LCOE) в 2021 году – 0,058 долл./кВт-ч. По отборам на аукционе ДПМ ВИЭ 2.0 2021 года минимальный одноставочный тариф – 4,83руб./кВт-ч, по отборам 2023 года – 7,5 руб./кВт-ч.
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на одиннадцатом уровне готовности: имеется развитая производственная и эксплуатационная инфраструктура; стабильный рост производства.
4	Масштабы производства в России	Нынешние масштабы производства солнечных панелей в России – 700 МВт в год. После ввода завода «ЭНКОР» в Калининградской области мощности вырастут до 1,7 ГВт в год. На российском рынке оборудования для солнечной энергетики работают три основных производителя: группа компаний «Хевел», ООО «Хелиос Ресурс» и ООО «Солар Кремниевые технологии»; а также есть «Телеком-СТВ» (Зеленоград), «Рязанский завод металлокерамических приборов», «Сатурн» (Краснодар), НПП «Квант» (Москва). «Хевел» – первый и единственный в России и крупнейший в Европе завод полного цикла по производству гетероструктурных солнечных ячеек и модулей в промышленном масштабе. Производственная мощность фотоэлектрической продукции составляет более 350 МВт/год. ⁸⁸ ООО «Хелиос Ресурс» является производителем мультикристаллических кремниевых пластин объемом 60 МВт/год на заводе в г. Мытищи Московской области. После запуска завода в Саранске (Республика Мордовия) объем производства достиг 180 МВт/год. Компания применяет сверхпроизводительную технологию роста кристаллов по методу направленной кристаллизации, что позволяет получать мультикристаллический кремний высокой частоты, из которого в дальнейшем производятся СФЭУ с высоким КПД. Изготавливаемые мультикристаллические кремниевые пластины используются для производства СФЭУ другими производителями как внутри России, так и за ее пределами: в частности, предприятие экспортирует продукцию в Китай. ООО «Солар Кремниевые технологии» выпускает и продает монокристаллические и мультикристаллические кремниевые пластины для участников рынка солнечной энергетики, прежде всего для генерирующих объектов ООО «Солар Системс». Современное производство располагается в центральной части Российской Федерации, на территории бывшего завода ПХМЗ в городе Подольск. Производственная мощность монокристаллических и мультикристаллических кремниевых пластин для высокоэффективных фотоэлектрических модулей составляет 220 ⁸⁹ МВт/год.

⁸⁸ www.hevelsolar.com.

⁸⁹ <https://sst-rus.com>.

№	Метрика	Описание
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации ВЭС, вводимых в последние несколько лет, достигает 70%⁹⁰. К концу 2021 года для 10 действующих на территории России СЭС показатель степени локализации составил максимальные 100%. Все элементы, задействованные в строительстве данных СЭС, были произведены в России, включая ФЭУ, детали и компоненты опорных конструкций, проводку и электрооборудование. Существующие в России производители оборудования в солнечной энергетике практически полностью перекрывают весь спрос на оборудование и компоненты СЭС. На российских мощностях также организовано производство вспомогательного оборудования для солнечной энергетике: сборка инверторного оборудования, металлоконструкций, производство кабельной и электротехнической продукции и т.д. В настоящее время производители либо уже осуществили модернизацию для перехода на технологии нового поколения, либо планируют это сделать, для чего используют в том числе потенциал российской науки. На данный момент на рынке локализованного оборудования для солнечной энергетике представлено несколько технологий: моно- и мультикристаллический кремний, тонкоплёночная (на основе аморфного кремния) и гетероструктурная (HJT) технологии.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	В России налажено серийное производство оборудования, используемого в фотоэлектрических панелях, услуги по его установке, эксплуатации и ремонту. Созданы Ассоциация развития возобновляемой энергетики (АРВЭ) и Ассоциация предприятий солнечной энергетики России.
7	Масштабы и источники возможного импорта	При уровне локализации сетевых СЭС 70% примерно 30% комплектующих импортируется. Эта доля снижается. По условиям программы поддержки ДПМ 2.0 на строительство ВЭС, к конкурсу допускаются только участники с заданным минимальным уровнем локализации, выраженным в баллах. Он должен повыситься с 95 баллов в 2025 году до 120 в 2031-2035 годах. при максимальном значении 140 баллов. ⁹¹ Подразделение, которое занимается розничными продажами, может по желанию заказчика установить любые модули. Таких проектов «Хевел» реализует в год около десятка на 5–10 МВт общей установленной мощностью. Основная страна-поставщик несетевых фотоэлектрических панелей и комплектующих к ним – Китай. По данным компании «Вольта Энерджи» (официальный дистрибутор российского завода «Хевел»), поставки солнечных панелей из Китая в Россию в 2022 году составили 20 МВт, что на 41% ⁹² меньше уровня 2021 года. Это изделия, покупаемые физлицами или бизнесом для собственного энергоснабжения.
8	Перспективы экспорта	Для сетевых СЭС в рамках второго этапа программы поддержки (ДПМ ВИЭ 2.0) внедрены целевые показатели экспорта и штрафы за их несоблюдение. Для СЭС на 2025 год целевой показатель равен 20%, а на 2031-2035 годы – 300%. ⁹³ Это означает, что не весь объем производства фотоэлектрических панелей должен быть предназначен для внутреннего рынка. С 2018 года солнечные модули и ячейки российского производства были экспортированы в такие страны, как Казахстан, Австрия, Германия, Италия, Польша, Швейцария, Швеция, Индия, Таиланд, Япония и др.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

⁹⁰ Возобновляемая энергетика в России и мире. Москва, 2022. РЭА Минэнерго России.

⁹¹ АРВЭ. Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития. Информационный бюллетень, июль 2022. Бюллетень Интерактивный, 2022 (1). pdf.

⁹² <https://www.kommersant.ru/doc/5774913>.

⁹³ Определяется как отношение выручки от экспорта промышленной продукции, приходящейся на генерирующий объект, к величине, равной произведению планового годового объема производства электрической энергии и показателя эффективности генерирующего объекта. Экспортная выручка определяется в рублевом выражении как совокупный доход от экспорта промышленной продукции и (или) работ (услуг), выполняемых (оказываемых) при проектировании, строительстве и монтаже СЭС. АРВЭ. Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития. Информационный бюллетень, июль 2022. Бюллетень Интерактивный 2022 (1).pdf.

Сетевые системы накопления энергии. По данным Росстата, производство батарей аккумуляторных никель-кадмиевых, никель-металлгидридных, литий-ионных, литий-полимерных, никель-железных и прочих в 2017 году составило 140 млн ампер-часов, в 2019 году – 142 млн ампер-часов, а затем оно снижалось и упало в 2022 году до 79 млн ампер-часов. Эти аккумуляторы имеют широкий спектр применений от использования в портативных приборах до применения в качестве тяговых на электротранспорте и в системах хранения в электроэнергетике. Компания «Хевел Энергосервис» (входит в группу компаний «Хевел») в 2022 году ввела в эксплуатацию солнечно-дизельную электростанцию мощностью 4,65 МВт в с. Тоора-Хем, Республика Тыва. Новая станция обеспечивает бесперебойное электроснабжение нескольких труднодоступных населенных пунктов региона, в которых проживают более 6000 человек. В дневные часы электроэнергия от солнечной электростанции мощностью 1 МВт выдается в общую сеть совместно с имеющимися дизель-генераторами, избыток накапливается в системе накопления энергии емкостью 500 кВт-ч. Расчётная экономия дизельного топлива по проекту в Тоора-Хем составляет 33% от текущего потребления, или 614 тонн в год. В Республике Тыва с 2019 года уже работают 2 аналогичные гибридные станции в посёлках Мугур-Аксы и Кызыл-Хая. Фактическая ежегодная экономия дизельного топлива по этим проектам составила 31% в Мугур-Аксы и 42% в Кызыл-Хая – более 500 тонн дизельного топлива в год. С 2015 года группа компаний «Хевел» построила 7 АГЭУ (автономных гибридных энергоустановок) в Забайкальском и Красноярском крае, Республиках Алтай и Тыва, а также в Чукотском автономном округе совокупной мощностью более 20 МВт. В разной стадии реализации находятся проекты по строительству гибридных электростанций в 40 населенных пунктах на территории Сибири и Дальнего Востока суммарной установленной мощностью более 60 МВт. Основные метрики технологии сетевых систем накопления энергии представлены в табл. 6.4.

Таблица 6.4 Сетевые системы накопления энергии

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	Объемы ежегодного ввода в 2015-2022 годах – 2,7 МВт. Потенциальный объем рынка систем накопления энергии в России к 2030 году оценивается в 10–15 ГВт. ⁹⁴
2	Затраты на реализацию технологии	В 2022 году 153 долл./кВт-ч полезной энергии при производстве в масштабе не менее 100 тыс. батарей в год. По оценке Управления транспортных технологий Министерства энергетики (DOE), стоимость литий-ионных аккумуляторных батарей для электромобилей снизилась на 89% в период с 2008 по 2022 год (в постоянных долларах 2022 года). В 2008 году она была равна 1355 долл./кВт-ч. ⁹⁵ Снижение стоимости связано с усовершенствованием аккумуляторных технологий и химических составов, а также с увеличением объемов производства.
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на одиннадцатом уровне готовности: имеется развитая производственная и эксплуатационная инфраструктура; стабильный рост производства.

⁹⁴ [Потенциальный объем рынка систем накопления энергии в России к 2030 году составит 10–15 ГВт \(eprussia.ru\).](https://eprussia.ru)

⁹⁵ [FOTW #1272, January 9, 2023: Electric Vehicle Battery Pack Costs in 2022 Are Nearly 90% Lower than in 2008, according to DOE Estimates | Department of Energy.](https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/fotw-1272-january-9-2023-electric-vehicle-battery-pack-costs-in-2022-are-nearly-90-lower-than-in-2008-according-to-doe-estimates)

№	Метрика	Описание
4	Масштабы производства в России	Установленная мощность СНЭ в 2022 году в автономных энергетических системах оценивается в 21,5 МВт, в ближайшие годы может достигнуть 80 МВт. ООО «РЭНЕРА» входит в состав Госкорпорации «Росатом» и занимается производством систем накопления энергии на литий-ионных аккумуляторах для спецтехники, телекоммуникационных систем, источников бесперебойного питания, систем накопления энергии, электротранспорта, железных дорог и других направлений энергоёмкостью от 10 до 20 МВт·ч. «Рэнера» получила положительное заключение госэкспертизы на проектную документацию по гигафабрике накопителей, с ожидаемым вводом в 2025 году мощность составит 4 ГВт·ч в год ⁹⁶ . К 2030 году суммарный объем произведенной и реализованной продукции составит 18,5 ГВт·ч, или более 230 тыс. тяговых батарей. Накопители энергии ёмкостью 300 кВт·ч (литий-железо-фосфатные LiFePO4 аккумуляторы) производятся в Новосибирской области компанией «Литотех» объемом более 1 ГВт·ч/год. ПАО «РусГидро» разработало гибридную систему накопления энергии с использованием различных типов батарей, которые одновременно функционируют в составе одного устройства. ⁹⁷ Реализуется проект ПАО «РусГидро» по созданию более чем 70 автономных энергокомплексов на проточных накопителях в Якутии и на Камчатке в рамках механизма энергосервисных договоров. Сетевые промышленные литий-ионные накопители энергии НЭТЕР изготавливаются в контейнерном или шкафом исполнении в диапазоне мощностей от 100 до 1000 кВА с возможностью параллельного подключения до 20 СНЭЭ для получения общей мощности до 20 МВА. «Полярный литий», совместное предприятие «Норникеля» и Горнорудного дивизиона Госкорпорации «Росатом», получил право пользования крупнейшим в России месторождением лития — Колмозерским (Мурманская область). Проект предполагает выпуск карбоната и гидроксида лития в объеме 45 тыс. т в год (в 2021 году в мире было произведено более 500 тыс. т карбоната лития).
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации производства накопителей электроэнергии в настоящее время довольно высок. В производстве накопителей использовано около 95% ⁹⁸ российских комплектующих. До конца 2027 года ⁹⁹ ожидается поэтапный переход к полной локализации продукции. Минпромторг предлагает учитывать российские системы накопления энергии при расчете степени локализации новых ВИЭ-объектов. ¹⁰⁰ Однако весь используемый в России литий импортируется. Есть планы по запуску собственной добычи в Мурманской области, на Ковыкте, в Дагестане, но точных сроков начала добычи нет.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	В России создается инфраструктура для производства сетевых накопителей энергии, их эксплуатации и обслуживания. Строятся предприятия по производству батарей. Есть сырьевые запасы необходимых компонентов и планы по их освоению.

⁹⁶ <https://www.interfax.ru/business/906720>.

⁹⁷ Накопитель предназначен для работы в небольших изолированных энергосистемах вместе с объектами возобновляемой энергетики. Проточные аккумуляторы состоят из резервуаров с электролитом, представляющий собой раствор металлических солей (например, раствор солей ванадия), способный переносить положительный и отрицательный заряды. В процессе прокачки электролита через разделенный мембраной резервуар положительный и отрицательный электроды обеспечивают ионный обмен с электролитом и генерацию электричества в ходе окислительно-восстановительных реакций. Опытный образец проходит испытания во Владивостоке, на острове Русский, в режиме совместной работы с солнечной электростанцией. Гибридный накопитель мощностью 30 кВт и емкостью 50 кВт·ч размещен в специальном контейнере, который упрощает его транспортировку и монтаж. Он включает в себя проточную батарею мощностью 10 кВт и емкостью 30 кВт·ч, а также литий-ионную батарею мощностью 20 кВт и емкостью 20 кВт·ч, объединенных автоматизированной системой управления.

⁹⁸ <https://e-cis.info/news/569/85807/?ysclid=liyiult6v1705053601>

⁹⁹ <https://www.bigpowernews.ru/news/document109510.phtml?ysclid=liyohohl8d802303367>

¹⁰⁰ <https://www.kommersant.ru/doc/4374097?ysclid=liyhz5t2sh228246842>

№	Метрика	Описание
7	Масштабы и источники возможного импорта	<p>Импорт в сфере сетевых систем накопления энергии на основе ВИЭ осуществляется в небольших объемах и после 2020 года еще сократился. По данным АРВЭ,¹⁰¹ отечественные устройства дешевле зарубежных аналогов при сопоставимых технических характеристиках. Стоимость российского накопителя емкостью 1 МВт-ч составляет около 45 млн руб. Системы состоят в основном из отечественных компонентов.</p> <p>В 2030 году для сетевых систем накопления энергии потребуется 27 т лития, а в 2060 году – 272 т. До 2022 года весь литий импортировался из Чили, Аргентины, Китая и Боливии. Китай испытывает нехватку лития. Чили и Аргентина приостановили поставки в Россию. Импортируется литий в основном из Боливии, масштабы производства в которой невелики.</p>
8	Перспективы экспорта	<p>Данных о масштабах экспорта систем накопления энергии нет. Группой компаний «МКС» заключен перечень соглашений и идет их реализация в рамках совместного производственно-сервисного предприятия на территории ОАЭ, эксклюзивное дистрибьюторское соглашение по проектированию, торговле и пост-сервисному обслуживанию накопителей энергии на батарейных решениях CATL. «МКС» подписала соглашение об эксклюзивной дистрибуции продукции на территории MENA (региона Ближнего Востока и Северной Африки).</p>

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

6.2 Промышленность

6.2.1 Черная металлургия

Производство стали в электродуговых сталеплавильных печах (EAF). Эта технология необходима как важное звено технологических цепочек производства стали с низкими выбросами ПГ, включая использование лома и железа прямого восстановления. Это зрелая технология с уровнем технологической готовности 11. Важным фактором является наличие мощностей, адекватных процессам декарбонизации черной металлургии. Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.5.

¹⁰¹ <https://rreda.ru/n88?ysclid=ljfib25jzm429683600>

Таблица 6.5 Производство стали в электродуговых сталеплавильных печах

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	Доля выплавки стали в электродуговых печах должна повыситься с нынешних 35% до 83% к 2040 году и до 100% к 2050 году. Среднегодовой ввод мощности варьирует в диапазоне 0,4-3,6 Мт.
2	Затраты на реализацию технологии	Приростные удельные капитальные вложения для повышения доли металлолома составляют 50 долл./т стали/год (затраты на его утилизацию и доставку). Они компенсируются более низкими затратами на энергию. Для технологической цепочки ПВЖ–ЭДП удельные капитальные вложения (590 долл./т/год) ниже, чем для традиционной цепочки – доменная печь-конвертер (600 долл./т/год). ¹⁰² Стоимость стали не повышается.
3	Уровень технологической готовности	Уровень технологической готовности – 11.
4	Масштабы применения в России	2022 г. – 25 Мт электростали (35%); 2030 г. – 41 Мт (53%); 2040 г. – 67 Мт (83%); 2050 г. – 74 Мт (100%); 2060 г. – 70 Мт (100%). Ввод новых производственных мощностей в объеме 0,4–3,6 млн т в год.
5	Уровень локализации производства	Дуговые и индукционные печи – 60%. По другим компонентам доля российских производителей оборудования для черной металлургии составляет: технологии – 28,2%; основное и вспомогательное оборудование – 30-60%, в том числе: машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), прокатное оборудование, трубопрокатные станы – 30%; отдельные детали и комплектующие – 20,5%. Дуговые и индукционные печи в России выпускают следующие предприятия: ЗАО «Накал – Промышленные печи»; ЗАО НПП «Машпром»; «УралИндуктор»; «MAGMATEX»; ООО ТК «Толедо»; ООО «СибЛитКом»; «Глоботерм»; АО «Электромеханика»; ООО «НПП «ИнтерСэлт». На 2024-2026 годы поставлена задача довести долю российской продукции для дуговых и индукционных печей как минимум до 80%. Это выше, чем в целом по доле российской продукции для сталеплавильных производств, которая должна составлять не менее 50-80%, ¹⁰³ или машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), прокатного оборудования, трубопрокатных станков, для которых порог установлен на уровне 50%.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	В России есть вся необходимая инфраструктура для производства и использования оборудования электродуговых и индукционных печей.
7	Масштабы и источники возможного импорта	Поскольку уровень локализации до 2026 года останется меньше 100%, необходимо будет импортировать часть оборудования дуговых и индукционных печей. Пока действуют санкции, источниками поставок могут служить китайские компании: «Shanghai Xinlanhai Automation Technology Co Ltd»; «Shanghai Electric Heavy Machinery Co Ltd»; «China Union ST Equipment & Engineering Co Ltd»; «Weifang Jinhuaixin Electric Furnace Manufacturing Co Ltd».
8	Перспективы экспорта	Планов на экспорт нет.

Источник: Оценка ЦЭНЭФ-XXI.

Производство железа прямого восстановления (DRI) с использованием природного газа и технологии CCUS. Производство DRI с использованием природного газа и технология CCUS – это новая технология, которая еще не используется в России. Ожидается, что она начнет применяться с 2031 года с уровня 0,46 Мт, а к 2060 году масштаб ее использования вырастет до 12,6 Мт. С 2016 года в Абу-Даби работает завод мощностью 0,8 Мт/год с системой CCS для увеличения нефтеотдачи на близлежащем нефтяном

¹⁰² IEA. 2020. Iron and Steel Technology Road Map – Towards a Sustainable Steelmaking. 2020; IEA. 2020. G20 Hydrogen report: Assumptions.

¹⁰³ Приказ Минпромторга России от 02.08.2022 г. № 3226 «План мероприятий по импортозамещению в отрасли тяжелого машиностроения Российской Федерации на период до 2024 года».

месторождении.¹⁰⁴ В Мексике с 2008 года эксплуатируются два завода мощностью (0,15–0,20 Мт CO₂/год с использованием CO₂ в производстве напитков.¹⁰⁵

В 2021 году УК «Металлоинвест» подписала соглашения с консорциумом *Primetals Technologies* и *Midrex Technologies* на поставку оборудования для новых производств ГБЖ на Лебединском ГОК и в городе Железногорске. При этом *Midrex Technologies* и *Primetals Technologies* должны были отвечать за инжиниринг и поставку основного технологического оборудования, а также за оказание шефнадзорных услуг. Однако из-за санкций поставка европейского технологического оборудования для проектов приостановлена. Таким образом, проекты строительства новых производств ГБЖ пересматриваются, и их реализация сдвигается на неопределенный срок.¹⁰⁶ В 2021 году на площадке Выксунского металлургического завода был инициирован проект строительства электрометаллургического комплекса полного цикла с использованием экологичных «зеленых» технологий (проект «Эколант»). Комплекс включает производство металлизированных окатышей по технологии DRI совместно с электрометаллургическим производством стали и двумя машинами непрерывной разливки. Кроме того, предусматривается строительство собственной электростанции, работающей на уходящих газах металлургического производства. Инвестиции в проект «Эколант» составляют 150 млрд руб. Особенностью проекта «Эколант» является отсутствие распространенных для большинства российских металлургических комбинатов полного цикла коксохимического, доменного и конвертерного производств. При строительстве комплекса «Эколант» планируется использовать оборудование российских и зарубежных производителей. Проектирование, изготовление и монтаж основного технологического оборудования должны выполнить компании *Danieli* (Италия) и *Primetals Technologies* (Австрия). Вспомогательное оборудование поставят Уральский завод тяжелого машиностроения, Троицкий крановый завод, компании «Теквин» и «Акватэко». В 2024 году на базе Стойленского горно-обогатительного комбината Группа «НЛМК» планирует начать строительство новых производств с использованием экологичных «зеленых» технологий (в том числе и производство горячебрикетированного железа). Проект предполагает расширение действующего карьера с увеличением объемов добычи руды с 43 млн т до 67 млн т в год; строительство новых мощностей по обогащению железорудного концентрата; строительство фабрики окомкования металлизированных окатышей и цеха по производству ГБЖ. Проект расширения Стойленского ГОК планируется реализовать в 2024–2027 годах с вводом в эксплуатацию по этапам в 2027–2028 годах. Инвестиции в проект составят около 250 млрд руб. Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.6.

¹⁰⁴ IEA. 2020. Energy technology perspectives. 2020.

¹⁰⁵ IEA. 2020. Iron and Steel Technology Road Map – Towards a Sustainable Steelmaking. 2020.

¹⁰⁶ Интерфакс: «Металлоинвест» пересмотрит цели и сроки стратегии развития мощностей <https://www.interfax.ru/business/867458>

Таблица 6.6 Производство железа прямого восстановления (DRI) с использованием природного газа и технологии CCUS

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	В настоящее время не применяется. Ввод новых мощностей для производства железа прямого восстановления с технологией CCUS в объеме 0,3–0,8 млн т в год.
2	Затраты на реализацию технологии	Приростные удельные капитальные вложения – 50 долл./т/год (для технологии ПВЖ–ЭДП – 590 долл./т/год, для технологии ПВЖ–ЭДП–CCS – 640 долл./т/год.¹⁰⁷ Стоимость стали повышается с 350-500 долл./т до 400-550 долл./т.¹⁰⁸
3	Уровень технологической готовности	Уровень технологической готовности – 9.
4	Масштабы применения в России	2040 г. – 5 млн т; 2050 г. – 11 млн т; 2060 г. – 12 млн т. Ввод новых мощностей для производства железа прямого восстановления с технологией CCUS в объеме 0,3–0,8 млн т в год.
5	Уровень локализации производства	Равен нулю. В России такие установки не производятся и не используются. До 2023 года практически все технологии и оборудование, которые использовались при строительстве российских производств прямого восстановления и горячепрокатного железа, импортировались из западных стран (100% импорт). Из-за санкций поставка технологического оборудования для проектов приостановлена, и поэтому сроки реализации проектов строительства новых производств с применением низкоуглеродных технологий могут быть пересмотрены.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Пока в России создана инфраструктура для транспортировки и хранения для коммерческого производства CO₂ в объемах 1,4 млн т. Инфраструктура для проектов CCUS (захват, транспортировка и хранение) находится только в зачаточной стадии.
7	Масштабы и источники возможного импорта	Масштабы импорта определяются уровнем прироста мощностей. Планы по расширению применения технологии CCUS приходятся в основном на Северную Америку и Европу. В случае снятия санкций возможен импорт оборудования из этих стран.
8	Перспективы экспорта	Планов на экспорт нет.

Источник: Оценка ЦЭНЭФ-XXI.

Производство железа прямого восстановления с использованием водорода. Это новая технология с уровнем технологической готовности 5. Пилотная установка построена и начала работать в Швеции в рамках проекта HYBRIT. В ее составе хранилище газообразного водорода в каменной пещере. Начат двухлетний тестовый период, который продлится до 2024 года. ArcelorMittal, VEO и McPhy строят пилотную электролизную установку в Айзенхюттенштадте (Германия) мощностью 2 МВт, которая будет введена в эксплуатацию в 2024 году. Водород будет использоваться в производстве стали. Согласно Стратегии развития УК «Металлоинвест», к 2026 году планируется строительство новых производств горячепрокатного железа (ГБЖ или НВ) суммарной мощностью 4,08 млн т с последующей возможностью перехода на водород в качестве восстановителя.¹⁰⁹ Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.7.

¹⁰⁷ IEA. 2020. Iron and Steel Technology Road Map – Towards a Sustainable Steelmaking. 2020; IEA. 2020. G20 Hydrogen report: Assumptions

¹⁰⁸ IEA. 2020. Energy Technologies Perspectives. 2020

¹⁰⁹ Стратегия развития УК «Металлоинвест» до 2032 г.

Таблица 6.7 Производство железа прямого восстановления с использованием водорода

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	В настоящее время не применяется. Ввод новых мощностей для производства железа прямого восстановления с технологией CCUS в объеме 0,1–0,5 млн т в год.
2	Затраты на реализацию технологии	Приростные удельные капитальные вложения – 355 долл./т/год (для технологии ПВЖ–ЭДП – 590 долл./т/год, для технологии водород-ПВЖ-ЭДП – 945 долл./т/год со снижением до 855 долл./т/год к 2030 году и до 755 долл./т/год в более отдаленной перспективе. ¹¹⁰ Стоимость стали повышается с 350-500 долл./т до 420-660 долл./т с последующим снижением в процессе обучения. ¹¹¹
3	Уровень технологической готовности	Уровень технологической готовности – 5.
4	Масштабы применения в России	2040 г. – 5 млн т; 2050 г. – 12 млн т; 2060 г. – 13 млн т. Ввод новых мощностей для производства железа прямого восстановления с использованием водорода в объеме 0,1–0,5 млн т в год.
5	Уровень локализации производства	Равен нулю. В России такие установки не производятся и не используются.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Для этой технологии необходима инфраструктура для хранения и транспорта водорода. В России ее еще нет, а производимый водород в основном используется на промышленных площадках, где он и производится.
7	Масштабы и источники возможного импорта	Масштабы импорта определяются уровнем прироста мощностей. Пилотные установки имеются только в Швеции и Германии. В последнем случае пилотная установка создана компанией ArcelorMittal, которая может тиражировать эту технологию в разных странах.
8	Перспективы экспорта	Планов на экспорт нет.

Источник: Оценка ЦЭНЭФ-XXI.

6.2.2 Производство алюминия

Производство алюминия по технологии предварительно обожженных анодов на сверхмощных электролизерах второго поколения (РА-550). На российских алюминиевых заводах ОК РУСАЛ внедряются сверхмощные экологичные и ресурсосберегающие электролизеры РА-550. Они эксплуатируются в опытно-промышленном корпусе Саяногорского алюминиевого завода (САЗ). Планируется перевести действующие электролизеры, работающие по технологии Содерберга, на сверхмощные электролизеры второго поколения (один РА-550 по производительности способен заменить три электролизера Содерберга). Сверхмощные электролизеры второго поколения РА-550 предполагается использовать при строительстве всех новых алюминиевых заводов и при расширении действующих производств первичного алюминия.

Разработчиком технологии предварительно обожженных анодов на сверхмощных электролизерах РА-550 является ОК РУСАЛ. Суточная производительность установки – 4,21 т алюминия/сутки. Удельный технологический расход электроэнергии – 12500-12560 кВт·ч/т алюминия. Стоимость – 240-280 тыс. руб./т алюминия (3000-3500 долл./т алюминия). До 2025 года планируется перевести выпуск до 535 тыс. т на Братском алюминиевом заводе на электролизеры РА-550. К 2035 году планируется полный перевод на электролизеры РА-550 Братского и Красноярского алюминиевых заводов (мощность – 1070 тыс. т). К 2036-2050 годам потребуются полный перевод Иркутского и Новокузнецкого алюминиевых заводов, а в 2060 году – остальных алюминиевых заводов ОК РУСАЛ.

¹¹⁰ IEA. 2020. Iron and Steel Technology Road Map – Towards a Sustainable Steelmaking. 2020; IEA. 2020. G20 Hydrogen report: Assumptions.

¹¹¹ IEA. 2020. Energy Technologies Perspectives. 2020.

В среднем, к 2060 году ежегодный объем модернизации должен составлять 1-2%, или 42-55 тыс. т, а ежегодный объем ввода новых мощностей по технологии предварительно обожженных анодов со сверхмощными электролизерами – 60-69 тыс. т (табл. 6.8).

Таблица 6.8 Объемы применения технологии предварительно обожженных анодов со сверхмощными электролизерами PA-550, PA-800+ и технологии «инертных» анодов на российских алюминиевых заводах в период 2022-2060 гг.

Наименование показателя	Ед. изм.	2022 (факт)	2024	2035	2050	2060
Суммарная производственная мощность алюминиевых заводов России (всего), в том числе:	тыс. т	4077	4094	4464	5694	6588
то же	%	100%	100%	100%	100%	100%
Модернизированные производственные мощности (сверхмощные электролизеры PA-550)	тыс. т	0	451	1197	2029	1622
то же	%	0%	11%	27%	36%	25%
Новые высокоэффективные производственные мощности (всего), в том числе:	тыс. т	559	656	1486	3468	4967
то же	%	14%	16%	33%	61%	75%
По технологии «инертных» анодов (марка «ALLOW INERTA»)	тыс. т	3,96	144	489	1459	2376
то же	%	0,1%	4%	11%	26%	36%
По технологии предварительно обожженных анодов (сверхмощные электролизеры PA-550 и PA-800+)	тыс. т	0	511	998	2009	2591
то же	%	0%	12%	22%	35%	39%

Источник: Расчеты ЦЭНЭФ-XXI по данным ОК РУСАЛ.

По имеющимся данным за 2022 год, доля российской продукции составляла по электродам графитовым 40%; по обожженным анодам 77-85%. В 2024-2026 годах планируется повысить долю российской продукции до 60-100%.¹¹² Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.9.

¹¹² Согласно приказу Минпромторга России от 29.03.2023 г. № 1058 «План мероприятий по импортозамещению в отрасли цветной металлургии Российской Федерации» <https://frprf.ru/download/plan-po-importozameshcheniyu-v-tsvetnoy-metallurgii.pdf>.

Таблица 6.9 **Технология предварительно обожженных анодов на сверхмощных электролизерах второго поколения (РА-550) в производстве первичного алюминия**

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	Средний годовой ввод технологии: модернизация существующих производств – 42-55 тыс. т/год; ввод новых мощностей – 60-69 тыс. т/год.
2	Затраты на реализацию технологии	Стоимость продукции: 240-280 тыс. руб./т. алюминия, или 3000-3500 долл. США/т алюминия (с тенденцией к снижению по мере роста масштабов применения технологии) при колебаниях цен алюминия на мировом рынке в последние годы в диапазоне 1455-4072 долл. США/т.
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на девятом уровне готовности. 2023 г. – реальная демонстрация технологии в ее завершенном виде. Принимается решение о серийном выпуске (перевод до 50% технологической мощности Братского алюминиевого завода на электролизеры РА-550).
4	Масштабы применения в России	Ежегодный ввод новых мощностей на 300-900 тыс. т. Модернизация существующих производств: 2022-2024 годы – 451-535 тыс. т алюминия, 2025-2035 годы – 1035-1197 тыс. т, 2036-2050 годы – 2029 тыс. т, 2051-2060 годы – 1622 тыс. т. Ввод новых производств: 2022-2024 годы – 511 тыс. т алюминия, 2025-2035 годы – 998 тыс. т, 2036-2050 годы – 2009 тыс. т, 2051-2060 годы – 2591 тыс. т.
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации – 40-85%. Доля российской продукции в использовании составляла по электродам графитовым 40%; по обожженным анодам 77-85%. В 2024-2026 годах ожидается, что доля российской продукции для технологии будет составлять 60-100%.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Создается инфраструктура по использованию технологии обожженных анодов. Увеличение выплавки низкоуглеродного первичного алюминия потребует в 2035-2060 годах ввода не менее 2,8 ГВт электрической мощности от низкоуглеродных источников энергии.
7	Масштабы и источники возможного импорта	Импорт технологии не предполагается. Технологию планируется применять только при модернизации существующих алюминиевых производств, а также при строительстве новых алюминиевых заводов и расширении существующих производств первичного алюминия в России.
8	Перспективы экспорта	Планов на экспорт нет.

Источник: Оценка ЦЭНЭФ-XXI.

Производство алюминия по технологии «инертных» анодов. Технология предусматривает замену углеродных анодов на инертные из керамики или сплавов.¹¹³ Ее использование радикально сокращает прямые выбросы парниковых газов при производстве алюминия. Углеродный след алюминия, произведенного таким способом, в разы ниже, чем при применении традиционных технологий, так как вместо выбросов CO₂ выделяется кислород.¹¹⁴ Разработчиком технологии является ОК РУСАЛ. Производительность установки по первичному алюминию – 1 т/сутки. Удельный технологический расход электроэнергии равен 12000 кВт·ч/т алюминия. В 2022 году было произведено 3960 т алюминия на опытной площадке Красноярского алюминиевого завода (КрАЗ). В 2023-2024 годах запускается производство алюминия по технологии «инертных» анодов в промышленных масштабах (марка «ALLOW INERTA»). В 2025-2060 годах предполагается ввод новых мощностей по технологии «инертных» анодов (при строительстве новых алюминиевых заводов и расширении существующих производств первичного алюминия). Для достижения углеродной нейтральности российских алюминиевых заводов к 2060 году

¹¹³ При производстве 1 т алюминия в электролизерах с угольными анодами скорость расходования анодов составляет 1-2 см/сут., а при использовании технологии инертных анодов скорость расходования анодов равна 1-2 см/год. При этом химические реакции происходят с выделением кислорода (на 1 т алюминия выделяется 0,8-0,9 т кислорода).

¹¹⁴ Углеродный след при производстве по технологии инертных анодов составляет менее 0,01 тCO₂экв/т алюминия (области охвата 1 и 2).

должна быть поставлена и выполнена амбициозная задача по увеличению доли производства алюминия по технологии инертных анодов на уровне не менее 36% (2376 тыс. т/год). Ежегодный объем ввода новых производственных мощностей по технологии «инертных» анодов должен составлять не менее 0,3-0,9% (20-42 тыс. т). Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.10.

Таблица 6.10 Производство алюминия по технологии «инертных» анодов

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	Средний ежегодный ввод новых производств мощностью 14 тыс. т до 2030 года, а после 2050 года – 92 тыс. т
2	Затраты на реализацию технологии	Стоимость строительства опытно-промышленного корпуса с электролизерами на «инертных» анодах равна 2,34 млрд руб., а стоимость продукции – 280 тыс. руб./т (3500 долл. США/т).
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на девятом уровне готовности. 2022 год – реальная демонстрация технологии в ее завершенном виде, после принимается решение о серийном выпуске (производство 3960 т алюминия на опытной площадке Красноярского алюминиевого завода).
4	Масштабы применения в России	Ввод новых производств: 2022-2024 годы – 144 тыс. т; 2025-2035 годы – 489 тыс. т; 2036-2050 годы – 1459 тыс. т; 2051-2060 годы – 2376 тыс. т.
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации производства равен 100%.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Создается инфраструктура, включая систему НИОКР, по использованию технологии инертных анодов. Увеличение выплавки низкоуглеродного первичного алюминия потребует ввода электрических мощностей на низкоуглеродных источниках энергии.
7	Масштабы и источники возможного импорта	Импорт технологии не предполагается. Технологию планируется применять только при модернизации существующих алюминиевых производств, а также при строительстве новых алюминиевых заводов и расширении существующих производств первичного алюминия в России.
8	Перспективы экспорта	Данных о планах экспорта технологии даже на зарубежные предприятия ОК РУСАЛ нет.

Источник: Оценка ЦЭНЭФ-XXI.

6.2.3 Цементная промышленность

Переход на энергосберегающие способы производства цемента (сухой и комбинированный). Производство цемента энергосберегающими способами (сухой, комбинированный)¹¹⁵ – это серийная зрелая технология, по которой в России производится до 58% готовой цементной продукции.¹¹⁶ Удельный расход топлива на обжиг клинкера: 2800-3098 МДж/т (новые цементные заводы с печами сухого способа, с многоступенчатыми теплообменниками и декарбонизатором); удельный расход электроэнергии – 73-90 кВт·ч/т

¹¹⁵ Сухой способ производства цемента заключается в том, что сырьевая смесь (известняк, глина, шлаки) в процессе измельчения высушивается. Влажность сухой сырьевой смеси не превышает 1%, и во вращающиеся печи поступает тонкоизмельченный сухой порошок. При сухом способе в процессе обжига смеси во вращающихся печах для получения клинкера сжигается меньше топлива (сокращается та часть топлива, которая при мокром способе расходовалась на испарение влаги из шлама). Комбинированный (полусухой) способ производства цемента заключается в том, что для изготовления сырьевой смеси сначала используется технология сухого способа (сырьевая смесь в процессе измельчения высушивается). Затем, перед поступлением во вращающиеся печи, в сырьевую смесь добавляют 10–14% воды и только после этого подают на обжиг. Комбинированный (полумокрый) способ производства цемента заключается в том, что для изготовления сырьевой шлама сначала используется технология мокрого способа (измельчение сырьевой смеси происходит в воде с образованием шлама). Затем сырьевой шлам обезвоживают до влажности 16–18% и только после этого подают во вращающиеся печи на обжиг.

¹¹⁶ По данным за 2022 год (журнал «Цемент и его применение», аналитические материалы CM PRO analytics).

цемента (новые цементные заводы с вертикальными валковыми мельницами или пресс-валковыми измельчителями). Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.11.

Таблица 6.11 **Переход на энергосберегающие способы производства цемента**

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	Ежегодный ввод технологии в 2015-2022 годах составлял 407 тыс. т цемента/год. На перспективу необходим ввод новых производственных мощностей в размере не менее 1,8-2,4 млн т/год.
2	Затраты на реализацию технологии	Удельные капитальные вложения равны 5000-12000 руб./т цемента. Реконструкция цементного завода (перевод на сухой способ производства) стоит 5-6 млрд руб., или 5000-5400 руб./т цемента (60-70 долл. США/т). Строительство новых цементных заводов (с печами сухого способа, многоступенчатыми теплообменниками и декарбонизатором, вертикальными валковыми мельницами или пресс-валковыми измельчителями) стоит 30-36 млрд руб. с удельной стоимостью 6000-12000 руб./т цемента (68-144 долл. США/т цемента).
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на девятом уровне готовности. Серийная («зрелая») технология
4	Масштабы применения в России	Ежегодный объем ввода новых производственных мощностей по энергосберегающим способам производства цемента должен составлять не менее 1,8-2 млн т. Это позволит повысить масштаб их использования с 35,4 (58%) в 2022 году до 52,5 (70%) в 2030 году; 67,6 (84%) в 2040 году; 80,6 (98%) в 2050 году; 83,1 (100%) в 2060 году.
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации производства оборудования – 30%. На 2023-2027 годы поставлена задача снизить уровень зависимости от импортного оборудования до 15-20%, а на 2028-2035 годы – до 5-10%. В 2022 году основное оборудование для цементных заводов России выпускают следующие предприятия: ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения» (печи вращающиеся для обжига клинкера; холодильники колосниковые; дробильное и размольное оборудование); ОАО «Волгоцеммаш» (печи и печные системы для производства цемента; холодильники колосниковые; дробилки, мельницы, агрегаты помола цемента); Группа компаний «Строммашина» (печи вращающиеся для обжига клинкера; дробильное и размольное оборудование; сопутствующее оборудование для производства цемента); Группа компаний «Гяжмаш» (дробильное и размольное оборудование); ПАО «Уралмашзавод» (дробильное и размольное оборудование); Алтайский завод строительного машиностроения (помолочные комплексы, конвейеры, транспортеры, силосы разборные для цемента).
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Вся необходимая инфраструктура для применения технологии есть.

№	Метрика	Описание
7	Масштабы и источники возможного импорта	70% от объема вводимых мощностей. Главная проблема перехода на энергосберегающие способы производств цемента – критическая зависимость от импортного оборудования. Согласно совместному исследованию НОПСМ и СМПРО, ¹¹⁷ уровень зависимости российских цементных заводов от импортного оборудования составляет не менее 70%. Зависимость цементной отрасли от импорта характерна как для основного технологического оборудования (вращающиеся печи для обжига клинкера, привод печей, холодильники, дробильное и размольное оборудование, сопутствующее оборудование для производства цемента), так и для вспомогательного оборудования (карьерная техника, газоочистительное оборудование). Возможен импорт оборудования для технологии из зарубежных стран на уровне не более 5-10%, а при проблемах с локализацией – и выше, от таких производителей, как CNBM (Китай, технологические линии по производству цемента); «Sinoma International Engineering Co Ltd» (Китай, проектирование, поставка и строительство цементных заводов различной производительности, единичного оборудования, а также комплектных установок и запасных частей для цементных производств); «Jiangsu Pengfei Group Co Ltd» (Китай, комплексные комплекты вращающихся печей, шаровых мельниц и цементного оборудования для технологических линий сухого способа производства цемента); «Great Wall Machinery Corporation» (Китай, технологические линии производства цемента сухим способом; «ZHENDZHOU MINING MACHINERY» (Китай, технологические линии производства цемента сухим способом, комплексное оборудования для цементных заводов); «Zenith Engineering Works» (Индия, погрузочно-разгрузочное оборудование, конвейеры, комплектные установки и запасные части для цементных производств).
8	Перспективы экспорта	Планов на экспорт нет. Локализованное оборудование предполагается использовать только в России при модернизации существующих цементных производств, а также при строительстве новых цементных заводов и расширении существующих производств клинкера и цемента.

Источник: Оценка ЦЭНЭФ-XXI.

Уменьшение соотношения «клинкер-цемент» за счет роста доли минеральных добавок к цементу. Замена клинкера минеральными добавками (уменьшение соотношения «клинкер-цемент») – это серийная зрелая технология, по которой в России производится до 37-39% готовой цементной продукции.¹¹⁸ В 2020-2022 годах производство цемента с минеральными добавками¹¹⁹ составляло 21,7-22,4 млн т с клинкер-фактором 88,4-90,6%. Замена клинкера минеральными добавками позволит уменьшить прямые выбросы парниковых газов (ПГ) на 9–10% от совокупных выбросов ПГ российской цементной промышленностью. К материалам (минеральным добавкам), которые могут заменить клинкер в цементе, относятся: гранулированный доменный шлак, летучая зола (позволяет замещать от 21 до 35% клинкера); известняк, кальцинированная глина, обожженная глина (глиеж); пуццоланы (материалы вулканического происхождения или осадочные породы). Эти добавки позволяют заменить 21-35% клинкера, а при производстве пуццоланового цемента – 45–64%. Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.12.

¹¹⁷ Совместное исследование НОПСМ и СМПРО «Потребность импортозамещения промышленности строительных материалов».

¹¹⁸ По данным за 2020-2022 годы (журнал «Цемент и его применение», аналитические материалы СМ PRO analytics).

¹¹⁹ Шлакопортландцемент, портландцемент тампонажный, портландцемент глиноземистый.

Таблица 6.12 Уменьшение соотношения «клинкер-цемент» за счет роста доли минеральных добавок к цементу

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	Требуемый ежегодный ввод технологии – увеличение производства цемента с минеральными добавками на 0,6-0,8 млн т, или увеличение использования добавок в 2022-2060 годах на 0,14 млн т в год. В 2015-2022 гг. расход минеральных добавок при помолке цемента снизился с 6 до 4,2 млн т, то есть в среднем он снижался на 0,26 млн т в год.
2	Затраты на реализацию технологии	Удельная стоимость технологии: 570-740 руб./т цемента (7-9 долл. США/т цемента)
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на (девятом) уровне готовности. Серийная («зрелая») технология.
4	Масштабы применения в России	Масштабы применения технологии – снижение клинкер-фактора до 59% по следующему графику: 2022 г. – 22,4 млн т (37%) при соотношении «клинкер-цемент» 90,2%; 2030 г. – 31,9 млн т (42%) при клинкер-факторе 83%; 2040 г. – 39 млн т (48%) при клинкер-факторе 74%; 2050 г. – 44 млн т (54%) при клинкер-факторе 66%; 2060 г. – 49 млн т (58%) при клинкер-факторе 59%.
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации производства: в цементной отрасли России нет зависимости от импорта материалов (минеральных добавок), которые могут заменить клинкер в цементе. По мере декарбонизации черной металлургии и электроэнергетики могут сокращаться объемы формирования таких отходов, как шлак и зола. Поэтому к 2060 году могут использоваться накопленные запасы шлака и золы, а также в большей пропорции такие минеральные добавки, как известняк, кальцинированная глина и глиеж.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Вся необходимая инфраструктура для применения технологии есть.
7	Масштабы и источники возможного импорта	Импорт минеральных добавок не предполагается.
8	Перспективы экспорта	Экспорт минеральных добавок не предполагается.

Источник: Оценка ЦЭНЭФ-XXI.

Повышение доли использования альтернативного топлива при производстве цемента. Использование альтернативного топлива (АТ) при производстве цемента — это серийная зрелая технология, которая в России используется на ряде предприятий. В период 2010-2022 годов доля альтернативного топлива увеличилась с 0,2 до 3%, причем число цементных заводов, использующих АТ, выросло с 1 до 8.¹²⁰ По результатам опроса предприятий цементной промышленности, 28 цементных заводов из 54, расположенных на территории Российской Федерации, выразили готовность осуществлять частичную замену традиционных энергетических ресурсов альтернативным топливом.¹²¹ Использование альтернативного топлива позволит уменьшить прямые выбросы парниковых газов на 25% от совокупных выбросов ПГ российской цементной промышленностью. К альтернативным видам топлива для цементной промышленности относятся: использованные шины (целые или измельченные); отработанные масла и растворители; промышленные отходы; твердые коммунальные отходы (ТКО); биотопливо, полученное из древесных отходов, а также из отходов пластмассы, текстиля и бумаги, не подлежащих вторичной переработке; биотопливо, полученное из осадков сточных вод; горючие сланцы; нефтяной и сланцевый

¹²⁰ По данным за 2010...2022 гг. (журнал «Цемент и его применение», аналитические материалы CM PRO analytics).

¹²¹ Отраслевая программа «Применение альтернативного топлива из отходов в промышленном производстве на 2022-2030 годы».

кокс. Использование альтернативного топлива на цементных заводах России может быть ограничено из-за ряда сдерживающих факторов. Первое – дефицит технологических мощностей по переработке отходов и производству альтернативного топлива. В 2022 году переработку отходов и производство АТ (RDF-топливо) осуществляют следующие предприятия: КПО «Восток» - 1,2 млн т/год,¹²² КПО «Волхонка» - 0,2 млн т/год (1-я очередь). Таким образом, на действующих предприятиях по переработке отходов можно получить всего 350-840 тыс. т RDF-топлива. Дефицит технологических мощностей предприятий по переработке отходов и производству АТ составляет 6698-6208 тыс. т (88-95%). В 2023-2025 годах планируется строительство новых технологических комплексов по переработке отходов и производству RDF-топлива: КПО «Волхонка» - 0,4 млн т/год (2-я очередь); КПО «Левашово» - 0,6 млн т/год; 3 предприятия в Ленинградской области - 1,8 млн т/год. Таким образом, после строительства новых предприятий по переработке отходов производство RDF-топлива можно увеличить до 1050–2520 тыс. т, и дефицит мощностей предприятий по переработке отходов и производству АТ сократится до 4,5-6 млн т (64-85%).

Второе: недостаточность производственных комплексов по приемке, переработке отходов и подготовке альтернативного топлива непосредственно на самих цементных заводах.¹²³

Третье: необходимость получения предприятиями лицензии и другой разрешительной документации для обращения с отходами и их утилизации (сжигания в цементных печах).

Четвертое: значительные затраты на перевозку и размещение отходов (не менее 1600-1800 руб./т), которые существенно выше себестоимости альтернативного топлива (в среднем, 1000-1200 руб./т для RDF-топлива). Пятое: в большинстве цементных печей можно использовать до 100% альтернативного топлива. Однако существуют определенные технические требования к теплотворной способности альтернативного топлива. Например, в стандартных вращающихся сушильных печах теплотворная способность альтернативного топлива должна быть не менее 20-22 ГДж/т. В модернизированных сушильных печах с прекальционаторами имеется возможность использования низкокалорийного топлива с теплотворной способностью 10-18 ГДж/т. Шестое: проблема влажности альтернативного топлива, получаемого из ТКО и древесных отходов. Практически во всех регионах России, влажность ТКО и древесных отходов в течение года не опускается ниже 30%. Чтобы получать необходимые параметры влажности АТ для цементной промышленности, регламентированные техническими требованиями (20-10%), необходимо устанавливать сушильные агрегаты и дополнительно расходовать тепловую энергию для сушки топлива из ТКО и древесных отходов. Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.13.

Использование технологии улавливания, использования и хранения диоксида углерода при производстве цемента. Это новая технология, опыта ее применения в цементной промышленности России нет. Ожидается, что ее применение на российских цементных предприятиях начнется с 2035 года и доля цемента, произведенного с технологией CCUS, составит не более 2%, или 1,6 млн т, а к 2060 году она повысится до 52%, то есть будет использоваться при производстве 43,2 млн т цемента.¹²⁴ Ее использование позволит сократить выбросы ПГ на 16,2 млн т CO₂, или на 38% от уровня 2022 года. Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.14.

¹²² В зависимости от состава из одной тонны отходов получается 0,25-0,6 т альтернативного топлива (RDF-топлива).

¹²³ По состоянию на 2022 г., только два российских цементных завода имели на своей территории комплексы по приему, переработке отходов и подготовке альтернативного топлива.

¹²⁴ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichek, A. Lunin, I. Govor. 2022. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENEf-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060.;> Башмаков И. Россия на пути к углеродной нейтральности: три четверки и одна двойка. Нефтегазовая вертикаль. № 11, 2022; Башмаков И. Сценарии движения России к углеродной нейтральности. Энергосбережение. № 1, 2023.

Таблица 6.13 Повышение доли использования альтернативного топлива при производстве цемента

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	Ежегодный ввод технологии в 2015-2021 годах составлял 180 тыс. т цемента/год. Заявленный российскими цементными заводами объем потребления АТ равен 3 млн т, или 1,86 млн тунт).
2	Затраты на реализацию технологии	Удельные стоимостные показатели: 709-1060 руб./т клинкера (8,5...12,7 долл. США/т клинкера).
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на девятом уровне готовности. Серийная («зрелая») технология.
4	Масштабы применения в России	Ежегодный прирост объема производства цемента на альтернативном топливе на 1,5-2 млн т с доведением объема потребления альтернативного топлива к 2060 году до 7 млн т (4,3 млн тунт). В 2022 г. производство 1,9 млн т цемента на альтернативном топливе (3%); в 2030 г. производство 15,9 млн т (21%) с долей альтернативного топлива 19%; в 2040 г. 34,6 млн т (43%) с долей альтернативного топлива 40%; в 2050 г. 42,9 млн т цемента (52%) с долей альтернативного топлива 60%; в 2060 г. 46,7 млн т цемента (56%) с долей альтернативного топлива 80%.
5	Уровень локализации производства	Отсутствует зависимость от импорта материалов и отходов, которые можно использовать в качестве альтернативного топлива.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	В 2022 году дефицит технологических мощностей по переработке отходов и производству альтернативного топлива оценивается в 88-95%. Малое число производственных комплексов по приемке и переработке отходов и подготовке альтернативного топлива непосредственно на самих цементных заводах.
7	Масштабы и источники возможного импорта	Импорт альтернативного топлива не предусматривается.
8	Перспективы экспорта	Экспорт альтернативного топлива не предусматривается.

Источник: Оценка ЦЭНЭФ-XXI.

Таблица 6.14 Использование технологии улавливания, использования и хранения диоксида углерода при производстве цемента

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	С 2035 г. ежегодный ввод технологии в размере 0,7-0,9 млн т.
2	Затраты на реализацию технологии	Удельная стоимость технологии: 19000-25000 руб./т цемента (225...295 долл. США/т цемента)
3	Уровень технологической готовности	Уровень технологической готовности – 7. Новая технология (демонстрация).
4	Масштабы применения в России	2035 г. – производство 1,6 млн т цемента с технологией (2%); 2040 г. – 9,7 млн т (12%); 2050 г. – 26,4 млн т (32%); 2060 г. – 43,2 млн т (52%).
5	Уровень локализации производства	В России оборудование для систем CCUS не производится. Опыт применения технологии CCS в обрабатывающей промышленности очень ограниченный, а в цементной промышленности он отсутствует.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Создана инфраструктура для транспортировки и хранения для коммерческого производства CO₂ в объемах 1,4 млн т. Технология может быть реализована непосредственно на территории российских цементных заводов при наличии достаточного места.
7	Масштабы и источники возможного импорта	Импорт технологии CCUS в сколь-либо значимых масштабах не осуществляется в силу отсутствия рынка. В условиях санкций российским источником импорта может стать Китай. После отмены санкций источники импорта могут диверсифицироваться.
8	Перспективы экспорта	Данных о планах экспорта технологий CCUS из России в источниках информации не выявлено.

Источник: Оценка ЦЭНЭФ-XXI.

6.2.4 Производство аммиака

Конверсия природного газа при производстве аммиака на новых крупных современных агрегатах с системой CCUS. Ожидается, что применение технологии CCUS на российских предприятиях по производству «голубого» аммиака начнется с 2041 года¹²⁵ с уровня 0,7 млн т, а к 2060 году этот показатель должен вырасти до 11 млн т, что позволит сократить выбросы ПГ на 23 млн т CO₂, или на 76% от уровня 2022 года. Применение этой технологии может начаться и раньше. В 2021 году был подписан контракт между ПАО «НОВАТЭК» и немецкой компанией Uniper SE о поставках 1,2 млн т низкоуглеродного «голубого» аммиака в качестве носителя водорода с проекта «Обский ГХК».¹²⁶ Проект предусматривает применение технологии CCUS в объеме 4,4 млн т CO₂ в год (табл. 6.15). Инвестиции в проект «Обский ГХК» могут достигать 2,2–2,4 млрд долл. США.

Таблица 6.15 Характеристики проекта ПАО «НОВАТЭК» «Обский ГХК»

Наименование проекта	Комплекс переработки природного газа с производством водорода, аммиака и другой низкоуглеродной продукции с применением технологии улавливания и подземного хранения CO ₂ («Обский ГХК»)
Регион	Ямало-Ненецкий автономный округ, полуостров Ямал (Сабетта)
Участники проекта	ПАО «НОВАТЭК», прочие партнеры
Начало проекта	2021 г. (этап предварительного проектирования, получение международной сертификации)
Срок реализации проекта	2026-2027 гг.
Ресурсная база проекта	Верхнетиутейское и Западно-Сеяхинское месторождения (доказанные и вероятные запасы месторождений составляют 251 млрд м3 газа и 16 млн т газового конденсата).
Целевые рынки	Внутренний рынок России, страны Европы и АТР.
Производственная мощность: аммиак	2,2 млн т низкоуглеродного «голубого» аммиака (две линии синтеза аммиака единичной мощностью 1,1 млн т в год)
водород	130 тыс. т водорода
Объем улавливания CO ₂	до 4,4 млн т CO ₂ в год

Источник: ПАО «НОВАТЭК».

В 2022 году из-за санкций из проекта «Обский ГХК» вышла немецкая компания Uniper SE, и все поставки оборудования и инвестиции в проект от этой компании приостановлены. Начат процесс адаптации проекта «Обский ГХК» под возможности поставок российского оборудования и технологий из стран, не применяющих санкций. Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.16.

¹²⁵ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichok, A. Lunin, I. Govor. 2022. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENEF-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060.;> Башмаков И. Россия на пути к углеродной нейтральности: три четверки и одна двойка. Нефтегазовая вертикаль. № 11, 2022; Башмаков И. Сценарии движения России к углеродной нейтральности. Энергосбережение. № 1, 2023.

¹²⁶ Низкоуглеродный «голубой» аммиак предполагается использовать в качестве носителя водорода. Аммиак станет поступать на перспективный терминал Uniper SE (аммиакохранилище) в г. Вильгельмсхафене, где на установке крекинга, работающей на возобновляемых источниках энергии, его переработают в азот и газообразный водород. Затем водород будет поставляться в немецкую перспективную систему водородных трубопроводов. Кроме того, аммиак может использоваться как сырье при производстве минеральных удобрений в химической промышленности и как топливо для тепловых электростанций при производстве электроэнергии (при сжигании аммиака не образуется CO₂).

Таблица 6.16 Конверсия природного газа при производстве аммиака на новых крупных современных агрегатах с системой CCUS

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	В настоящее время не применяется. Ввод новых производственных мощностей «голубого» аммиака с технологией CCUS в объеме 0,5-0,7 млн т в год.
2	Затраты на реализацию технологии	Приростные удельные капитальные вложения – 410 долл./т аммиака/год (для технологии парового риформинга метана 905 долл./т аммиака/год (по другим данным, 1000-1300 долл./т аммиака/год), ¹²⁷ для технологии с CCS – 1315 долл./т аммиака). ¹²⁸ Ожидается снижение приростных капитальных вложений в долгосрочной перспективе до 260 долл./т аммиака. Соответствующее удорожание аммиака с 190 до 212 долл./т.
3	Уровень технологической готовности	Уровень технологической готовности – 7-8. Первые установки были запущены в США еще в 1980-х годах. ¹²⁹ В последние годы улавливается около 11 Мт CO ₂ , или 25% от общего объема улавливания при производстве водорода, а еще 4 Мт CO ₂ от систем риформинга метана.
4	Масштабы применения в России	Ежегодный объем прироста производства аммиака с CCUS должен составлять с 2041 года 0,5-0,7 млн т и достигнуть к 2050 году 5 млн т (22%), а к 2060 году – 11 млн т «голубого» аммиака с технологией CCUS (43%).
5	Уровень локализации производства	В России таких установок нет. На Северную Америку приходятся почти все имеющиеся в мире мощности по производству водорода за счет риформинга газа с системами CCUS (0,5 млн т водорода в 2021 году) и почти треть проектного портфеля с доведением мощности до 11 млн т к 2030 году.¹³⁰ В 2022 году до 60% технологий и оборудования, которые использовались при производстве аммиака, импортировалось. В 2023-2035 годах доля российского оборудования и технологий для производства аммиака должна составлять не менее 75%.¹³¹ Российское оборудование на предприятиях по производству аммиака в основном представлено только агрегатами AM-70, AM-76 и AM-76M, которые работают по традиционным технологиям паровой конверсии природного газа (технологии SMR AM, Tandem). Российские агрегаты характеризуются значительным энергопотреблением: энергоемкость производства аммиака составляет 42–43 ГДж/т аммиака при расходе природного газа на уровне 1224–1275 м³/т аммиака. Более энергоэффективное и ресурсосберегающее оборудование на российских производствах аммиака представлены такими зарубежными агрегатами, как TEC, Chemico, KBR, Linde, Haldor Topsoe (технологии КААР, КААР Plus, Linde Ammonia Concept – LAC, Haldor Topsoe A/S process). Такие зарубежные агрегаты характеризуются значительно меньшим энергопотреблением: энергоемкость производства аммиака равна 30–31 ГДж/т аммиака при расходе природного газа 916–972 м³/т аммиака. Технологии и оборудование для производств аммиака разрабатывают и производят следующие российские предприятия: ОАО «ГИАП» (проектирование и поставка оборудования для технологий SMR AM, Tandem AM, Tandem AM B); ОАО «ТопТех» (проектирование и поставка агрегатов аммиака, печей риформинга, колонн для синтеза аммиака, установок для производства водорода, катализаторов); ООО «НПО Центротех» (компрессоры, электролизные установки, электрохимические генераторы); ООО «Газохим Инжиниринг» (электрохимические генераторы, блочно-модульные установки генерации водорода).

¹²⁷ Argus. Green shift to create 1 billion tonne 'green ammonia' market? June 2020; The Royal Society. Ammonia: zero-carbon fertiliser, fuel and energy store. POLICY BRIEFING.

¹²⁸ IEA. 2020. G20 Hydrogen report: Assumptions.

¹²⁹ IEA. 2023. Energy Technologies Perspectives. 2023.

¹³⁰ Все планы по расширению применения этой технологии приходятся на Северную Америку, Европу и ОАЭ. IEA. 2023. Energy Technologies Perspectives. 2023.

¹³¹ Стратегия развития химического и нефтехимического комплекса до 2024 года и на период до 2035 года (с изменениями).

№	Метрика	Описание
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Необходимая инфраструктура для масштабного производства, хранения и транспортировки аммиака в России создана. Пока в России создана инфраструктура для транспортировки и хранения коммерческого производства CO₂ в объемах 1,4 млн т. Инфраструктура для проектов CCUS (захват, транспортировка и хранение) находится только в зачаточной стадии.
7	Масштабы и источники возможного импорта	Все планы по расширению применения этой технологии приходятся на Северную Америку, Европу и ОАЭ. Целевой показатель локализации при производстве аммиака по традиционной технологии – 75% на 2035 год. По технологии CCUS он будет ниже. Следовательно, сохраняется потребность в значительном импорте оборудования. В качестве наилучших доступных зарубежных технологий можно использовать технологии UHDE (Нидерланды, компания «Prenflo»); SynCOR Ammonia и SynCOR Plus (Дания, компания «Haldor Topsoe»); CASALE SMR и MEGAMMONIA (Швейцария, компания «Ammonia Casale»); LAC (Германия, компания «Linde»); AMV-технология (Великобритания, компания «ICI»); КААР и КААР Plus (США, компания «KBR»); Япония, компания «TEC»); Purifier (США, компания «KBR»). При длительном сохранении санкций может поставляться оборудование от таких производителей, как «China National Chemical Engineering Co Ltd» (Китай); «Huanqiu Contracting & Engineering Corporation» (Китай); «Hindustan Urvarak & Rasayan Limited» (Индия).
8	Перспективы экспорта	Данных о планах экспорта технологий CCUS из России в источниках информации не выявлено.

Источник: Оценка ЦЭНЭФ-XXI.

Использование «зеленого» водорода при производстве аммиака. Производство аммиака с использованием водорода – это новая технология, которой еще нет в России. В мире с ее применением производится только 0,1 Мт аммиака. Правда, эта технология использовалась еще в начале XX века, но затем из-за появления дешевого газа ее использование практически прекратилось. Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.17.

Таблица 6.17 Использование «зеленого» водорода при производстве аммиака

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	В настоящее время в России не применяется. Ввод новых производственных мощностей с использованием водорода – 0,06 Мт в год в 2040-2060 годах
2	Затраты на реализацию технологии	Приростные удельные капитальные вложения – 255 долл./т аммиака/год (для технологии парового риформинга метана – 905 долл./т аммиака/год (по другим данным, 1000-1300 долл./т аммиака/год), ¹³² для технологии с электролизным водородом – 1160 долл./т аммиака/год, ¹³³ а по другим данным, 1700 долл./т аммиака/год). ¹³⁴ Ожидается выход на паритет по удельным капитальным вложениям в 2030-2040 годах, а затем эта технология (575 долл./т аммиака/год) станет дешевле традиционной. По стоимости аммиака паритет ожидается к 2055 году.
3	Уровень технологической готовности	Уровень технологической готовности – 7-8. ¹³⁵ Технология в промышленных масштабах использовалась еще в начале XX века. ¹³⁶
4	Масштабы применения в России	Рост доли аммиака, производимого с использованием электролизного водорода до 2% к 2050 году и до 4% к 2060 году (1,1 млн т).
5	Уровень локализации производства	В России эта технология не применяется. В мире на ее основе производится только 0,1 Мт водорода.

¹³² Argus. Green shift to create 1 billion tonne ‘green ammonia’ market? June 2020.

¹³³ IEA. 2020. G20 Hydrogen report: Assumptions; IEA. 2023. Energy Technologies Perspectives. 2023.

¹³⁴ Argus. Green shift to create 1 billion tonne ‘green ammonia’ market? June 2020.

¹³⁵ IEA. 2020. Energy Technologies Perspectives. 2020.

¹³⁶ Rouwenhorst K.H.R., A.S. Travis and L. Lefferts. 1921–2021: A Century of Renewable Ammonia Synthesis. Sustain. Chem. 2022, 3, 149–171. <https://doi.org/10.3390/suschem3020011> [suschem-03-00011 \(2\).pdf](https://doi.org/10.3390/suschem3020011).

№	Метрика	Описание
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Необходимая инфраструктура для масштабного производства, хранения и транспортировки аммиака в России создана. Для водорода такой инфраструктуры в России пока нет.
7	Масштабы и источники возможного импорта	Объявленные планы по расширению производства электролизеров (более 40 ГВт к 2030 году) включают компании Австралии, Новой Зеландии, США, Европы и Китая (6 ГВт).¹³⁷ Эти страны и могут стать основными источниками импорта данной технологии.
8	Перспективы экспорта	Данных о планах экспорта технологии производства аммиака на основе использования «зеленого» водорода из России в источниках информации не выявлено.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

6.3 Транспорт

Электромобили. Правительство РФ 29 апреля 2023 года утвердило перечень из 29 мер дополнительной поддержки рынка электромобилей. Планируется предоставить субсидии агрегаторам такси и каршеринга для снижения стоимости поездок на электромобилях, снизить для них платежи по ОСАГО, для электромобилей предоставлено право бесплатного проезда по платным федеральным трассам. Минпромторг запустил программу льготного автокредитования и лизинга электромобилей с бюджетом 20,7 млрд руб. На российском рынке выросло число моделей электромобилей с 41 в 2021 году до 82 моделей 43 брендов.¹³⁸ «АвтоВАЗ» представил электрический Largus, представлен также первый электромобиль Augus. В 2022 году запустили площадку для переоборудования обычного автомобиля в электрический. Растет локализация производства и появились первые электромобили на отечественных батареях компании «Рэнера», входящей в «Росатом». Однако из проданных за два месяца 2023 года 909 новых электромобилей половина была произведена в Китае. Начинается продажа китайских электромобилей российской сборки. Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.18.

Таблица 6.18 Электромобили

№	Метрики	Описание
1	Рыночная ниша	В феврале 2023 года доля электромобилей достигла 1% в продажах новых легковых автомобилей.¹³⁹ В 2022 году парк электромобилей в личной собственности граждан составлял 22 229 единиц. В 2022 году продажи новых электрокаров выросли на 33% до 2998 шт.¹⁴⁰ По оценкам ЦЭНЭФ-XXI, в 2030 году количество электромобилей в собственности граждан составит 2,44 млн штук (6,4% парка личного автомобильного транспорта) при годовом приросте 262 тыс. шт. К 2060 году парк вырастет до 13,3 млн шт.
2	Затраты на реализацию технологии	К 2040 году электромобили выйдут на паритет по стоимости владения с легковым автомобилем с ДВС, а затем станут дешевле. Средняя стоимость электромобиля по данным за апрель 2023 года составляет 3,77 млн руб. Высокая цена определялась высокой долей продаж моделей бизнес-класса и кроссоверов. Предполагается, что цена будет постепенно сокращаться до 2,4 млн руб. в 2030 году и до 1,1 млн руб. в 2060 году.
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на девятом уровне технологической готовности. Запущено серийное производство, требуется развитие для повышения уровня конкурентоспособности.

¹³⁷ Argus. Green shift to create 1 billion tonne 'green ammonia' market? June 2020; IEA. 2023. Energy Technologies Perspectives. 2023.

¹³⁸ Доля Tesla в 2022 году составила 39%.

¹³⁹ [Электромобили \(рынок России\) \(tadviser.ru\)](#).

¹⁴⁰ Там же.

№	Метрики	Описание
4	Масштабы производства в России	Ожидается, что к 2030 году в России будет производиться 140-150 тыс. электромобилей в год, или чуть больше половины годового прироста парка электромобилей. В 2022 году в России было произведено порядка 2 тыс. электромобилей. ¹⁴¹ В 2023 году планируется увеличить выпуск электроавтомобилей в 9 раз примерно до 18 тыс. штук, а в 2024 году – до 36 тыс. в год. ¹⁴² В 2023 году завод «Москвич» планирует выпустить 10 тыс. электромобилей, а в 2024 году объемы выпуска планируется удвоить. В 2025 году АО «Кама» планирует выпустить 10 тыс. автомобилей «Атом», а к 2030 году выйти на объемы производства свыше 100 тыс. автомобилей в год. ¹⁴³ «Моторинвест» (бренд Evolute) планирует вложить 13 млрд руб. в наращивание суммарных объемов производства в течение следующих 11 лет до 240 тыс. машин. ¹⁴⁴
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации низкий: в основном российские компании занимаются отвёрточной сборкой моделей китайских автомобильных брендов. Он может повыситься до 50% при использовании батарей российского производства. ¹⁴⁵ «Моторинвест» выпускает электромобили под брендом «Evolute» на заводе в 50 км от Липецка. Предприятия осуществляют сборку китайских электромобилей брендов Dongfeng, Seres и LingZhi. На заводе «Москвич» (ранее – «Рено Россия») налажена сборка китайских электромобилей JAC E40X под брендом «Москвич Зе». Ожидается, что в последующие годы на электромобилях «Моторинвеста» отечественными будут все комплектующие, включая тяговые батареи и электромоторы. ¹⁴⁶ С 2025 года планируется наладить сборку российского электромобиля «Атом».
6	Наличие необходимой инфраструктуры	В России работают более 7,5 тыс. зарядных устройств, 35 операторов станций зарядки электромобилей (ЭЗС). В 2022 году создано 439 быстрых зарядных станций в 12 пилотных регионах. Сейчас в России 7560 ЭЗС, из них 1190 – быстрые, а парк электромобилей составляет 24 500 единиц. То есть приходится около 3 автомобилей на 1 станцию. Это нормальная ситуация для ранних стадий электрификации автомобильного транспорта.
7	Масштабы и источники возможного импорта	На импорт электромобилей приходится почти весь прирост их парка, а география импорта резко сдвинулась в сторону Китая. По итогам 2022 года в Россию ввезено 3479 новых электромобилей. Это на 24% больше, чем в 2021 году. 53% импорта новых электрокаров пришлось на продукцию Tesla и Volkswagen (1127 и 719 штук соответственно). За два месяца 2023 года было реализовано 909 новых электромобилей, половину которых произвели в Китае. ¹⁴⁷ В 2021-2022 годах основными странами-поставщиками автомобилей были Германия, Бельгия, Австрия и др. ¹⁴⁸ В первой половине 2023 года более 70% импорта автомобилей пришлось на Китай (70,5%), всего импорт составил 121 тыс. автомобилей. В мае 2023 года доля продаж китайских автомобилей составила 46%. Доля европейских марок сократилась до 5%, корейских – до 8%, японских – до 6%. ¹⁴⁹
8	Перспективы экспорта	К 2030 году АО «Кама» намерена выйти на объемы производства свыше 100 тыс. автомобилей в год, в том числе за счет развития экспорта в Юго-Восточную Азию, на Ближний Восток и, возможно, в Китай.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

¹⁴¹ <https://iz.ru/1467513/2023-02-09/proizvodstvo-elektromobilei-v-rf-planiruiut-uvelichit-v-deviat-raz-v-2023-godu>.

¹⁴² <https://ria.ru/20230209/elektromobili-1850793284.html>.

¹⁴³ <https://quto.ru/journal/news/rossiiskie-elektrokar-atom-budut-vypuskat-na-zavode-moskvich-02-06-2023.htm>.

¹⁴⁴ <https://www.autonews.ru/news/6316eaf09a794795d76ec93a>.

¹⁴⁵ [Совершенно новый уровень промышленного производства: Антон Алиханов рассказал на ПМЭФ о проекте калининградской гигафабрики | Портал Правительства Калининградской области \(gov39.ru\)](#).

¹⁴⁶ <https://www.rbc.ru/economics/12/12/2022/639348259a794722de681d80>.

¹⁴⁷ [Электромобили \(рынок России\) \(tadviser.ru\)](#).

¹⁴⁸ [NeoAnalytics проанализировала российский рынок электромобилей по итогам 2022 года \(eprussia.ru\)](#).

¹⁴⁹ <https://www.kommersant.ru/doc/6067742>.

Электробусы. Федеральные и региональные власти предпринимают усилия по развитию электробусного транспорта и развитию для него зарядной инфраструктуры. Принято постановление, по которому регионы смогут получить бюджетные кредиты на проекты, связанные с комплексным развитием городского электротранспорта. Определён перечень из 10 городов, в которых (при участии госкорпорации ВЭБ.РФ) реализуются проекты, связанные с развитием инфраструктуры городского электрического транспорта. Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.19.

Таблица 6.19 Электробусы

№	Метрики	Описание
1	Рыночная ниша	В конце 2022 года парк электробусов и гибридов в России составлял 1275 штук. По оценкам ЦЭНЭФ-XXI, парк вырастет к 2030 году до 30 тыс. штук, а к 2060 г. – до 584 тыс. штук. Наиболее распространённая модель электробуса «КАМАЗ-6282» считается гибридной из-за наличия дизельного отопителя, который заменили на электроотопители в новой модификации.
2	Затраты на реализацию технологии	Стоимость одного электробуса составляет 20-60 млн руб. в зависимости от комплектации, емкости батарей, объема партии поставки и других факторов.
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на десятом уровне технологической готовности. В России на нескольких предприятиях запущено серийное производство. Требуется дальнейшие шаги по распространению продукции.
4	Масштабы производства в России	Ожидаемый годовой объем производства электробусов в России в 2023 году можно оценить в 450-700 ед. В 2021 году он равнялся 300 ед. Ключевыми отечественными производителями электромобилей и электробусов сегодня являются ПАО «КамАЗ» и Группа «ГАЗ». Группа «ГАЗ» производит на заводе в Ликино низкопольные электробусы ЛиАЗ-6274 (с 2012 года) и ЛиАЗ-6274.20 «e-Citymax 18» (с 2022 года), а на заводе «ГАЗ» в Нижнем Новгороде – целую линейку коммерческих электромобилей «Газель e-NN» (как в варианте минивэна, так и в варианте легкого грузовика), а также небольшой электробус «Газель e-City». ПАО «КамАЗ» продало только правительству Москвы более 1000 городских низкопольных электробусов КамАЗ-6282. В марте 2023 года холдинг «Синара – Транспортные машины» открыл новое производство – Челябинский завод городского электрического транспорта, на котором будут выпускаться современные троллейбусы и электробусы. ¹⁵⁰ Открываются или строятся заводы по производству электробусов в Рыбинске, Вологде и Иркутске (совместно с Китаем).
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации производства электробусов равен 25-40%.¹⁵¹ В электробусах остаётся целый ряд импортных комплектующих, среди которых силовая электроника, передняя независимая подвеска, электропортальный мост, тяговые литий-титановые батареи, компрессор, кондиционер, информационная система и сам токоприёмник. Возможна локализация производства части комплектующих. В применяемых в Москве моделях ЛиАЗ-6274 и КамАЗ-6282 ранее использовался электропортальный мост немецкого концерна ZF. В августе 2022 года на сайте МГТУ им. Н. Э. Баумана сообщалось о завершении одним из подразделений вуза разработки электропортального моста для электробусов «КамАЗ» (по заказу производителя). Впрочем, о его внедрении не сообщалось.

¹⁵⁰ <https://up74.ru/articles/ekonomika/147836/>.

¹⁵¹ [Собянин открыл завод электробусов в Сокольниках - Недвижимость РИА Новости, 27.04.2021 \(ria.ru\); Новинки "Иннопрома": электробусы, мед-"Нива" и мотоцикл "Мерлон" \(vesti.ru\).](#)

№	Метрики	Описание
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Российские города, где применяются электробусы (в первую очередь, Москва, на которую приходится более 80% парка), динамично оснащаются зарядной инфраструктурой. В Москве за 2020 год было открыто более 50 ультрабыстрых зарядных станций для электробусов. Парк «Красная Пахра» рассчитан на 300 электробусов, имеет 34 ультрабыстрых зарядных станций с системой динамического распределения заряда на более 200 зарядных постов. В 2023 году Мосгортранс объявил тендер на закупку 64 ультрабыстрых зарядных станций для электрических автобусов. Стоимость контракта составит 713 млн руб. ¹⁵²
7	Масштабы и источники возможного импорта	Практически все электробусы произведены в России. Однако поскольку уровень локализации равен только 25-40%, значительная часть комплектующих импортируется. По состоянию на 2023 год производство электробусов ЛиАЗ-6274 и КамАЗ-6282 продолжается, с заменой ранее использовавшихся импортных комплектующих западных производителей на комплектующие, импортируемые из других стран.
8	Перспективы экспорта	В 2021 году КамАЗ заявлял о планах экспорта в страны Персидского залива и Туркменистан.¹⁵³ В 2023 году КамАЗ поставил в Туркменистан два электробуса.¹⁵⁴

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Батареи. Основная проблема, связанная с повышением уровня локализации производства как электромобилей, так и электробусов, – локализация производства батарей и организация в России собственного производства лития. Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.20.

Таблица 6.20 Батареи

№	Метрики	Описание
1	Рыночная ниша	Рыночная ниша для батарей в 2023-2060 годах равна 13-28 ГВт-ч/год.
2	Затраты на реализацию технологии	В 2022 году – 153 долл./кВт-ч полезной энергии при производстве в масштабе не менее 100 тыс. батарей в год. По оценке Управления транспортных технологий Министерства энергетики (DOE), стоимость литий-ионных аккумуляторных батарей для электромобилей снизилась на 89% в период с 2008 по 2022 год (в постоянных долларах 2022 года). В 2008 году она была равна 1355 долл./кВт-ч. ¹⁵⁵ Снижение стоимости связано с усовершенствованием аккумуляторных технологий и химических составов, а также с увеличением объемов производства.
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на одиннадцатом уровне готовности: имеется развитая производственная и эксплуатационная инфраструктура; стабильный рост производства.

¹⁵² <https://delta.news/article/mosgortrans-ocenil-postavku-64-stancy-zaryadki-elektrobusov-v-714-mln-rublej-7792>.

¹⁵³ <https://rt.rbc.ru/tatarstan/17/12/2021/61bafdc99a79477f3d609f70>.

¹⁵⁴ <https://www.interfax.ru/business/881506>.

¹⁵⁵ [FOTW #1272, January 9, 2023: Electric Vehicle Battery Pack Costs in 2022 Are Nearly 90% Lower than in 2008, according to DOE Estimates | Department of Energy.](#)

№	Метрики	Описание
4	Масштабы производства в России	В 2017-2022 годах производство батарей аккумуляторных никель-кадмиевых, никель-металл-гибридных, литий-ионных, литий-полимерных, никель-железных и пр. для всех направлений использования составляло 1-1,7 ГВт-ч. «Рэнера» собирает батареи на площадке Московского завода полиметаллов (мощность – 150 МВт/ч), а к концу 2023 года компания планирует начать сборку модулей в «Технополисе Москва» (мощность – 320 МВт-ч). ¹⁵⁶ 14 октября 2022 года «Росатом» начал строительство завода по выпуску батарей для электрокаров в Калининграде. Компания совместно с «Автотором» планирует производить литий-ионные ячейки и полноценные аккумуляторные батареи для электрокаров. Мощность первой очереди завода (2025 год) – 50 тыс. аккумуляторов в год, или не менее 4 ГВт-ч в год. ¹⁵⁷ Возможно увеличение производства до 120-130 тыс. батарей ежегодно. Завершить процесс локализации планируется к 2030 году. В 2023-2025 годах предполагается продать в России батареи ёмкостью 690 МВт-ч, а в 2030 году – 3,75 ГВт-ч. Это эквивалентно производству для 60-70 тыс. электромобилей. «Рэнера» планирует продать литий-ионные накопители энергии для электромобилей «Атом». ¹⁵⁸
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации производства накопителей электроэнергии в настоящее время оценивается как высокий. В производстве накопителей использовано около 95% ¹⁵⁹ российских комплектующих. До конца 2027 года ¹⁶⁰ ожидается поэтапный переход на полную локализацию продукции. Минпромторг предлагает учитывать российские системы накопления энергии при расчете степени локализации новых ВИЭ-объектов. ¹⁶¹
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Строятся предприятия по производству батарей. Есть сырьевые запасы необходимых компонентов. Россия обладает большими сырьевыми запасами компонентов литий-ионных батарей для накопителей энергии. Примерно 10% мирового производства никеля и 3% кобальта приходится на «Горно-металлургическую компанию «Норильский никель». ¹⁶² Сейчас в России не выпускается необходимое литиевое сырьё, что в ближайшие годы создаст трудности с производством катодных и анодных материалов. Предприятия по их производству в России должны появиться к 2026-2030 годам. ¹⁶³ «Газпром» совместно с «ИСТ Эксплорейшен» готовит проект добычи лития на Ковыктинском месторождении газа. ¹⁶⁴ В электромобилях с батарейным питанием содержится около 83 кг меди. А в электрических автобусах эта цифра доходит до колоссальных 369 кг. На долю России приходится 5% мировой добычи меди.
7	Масштабы и источники возможного импорта	В настоящее время две трети литий-ионных батарей в мире поставляются из Китайской Народной Республики.
8	Перспективы экспорта	Данные об экспорте отсутствуют.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Зарядные станции. Строительство зарядных станций в значительной мере реализуется за счет господдержки в рамках пилотного проекта,¹⁶⁵ в котором в 2022 году участвовали 12 регионов, где в 2022 году было установлено 439 зарядных станций. В 2023 году число субъектов РФ, участвующих в этом пилотном проекте, выросло до 34. В планах создание

¹⁵⁶ <https://peretok.ru/news/engineering/26498/>.

¹⁵⁷ <https://tass.ru/ekonomika/16590317>.

¹⁵⁸ <https://www.kommersant.ru/doc/5797242>.

¹⁵⁹ <https://e-cis.info/news/569/85807/?ysclid=liyult6v1705053601>.

¹⁶⁰ <https://www.bigpowernews.ru/news/document109510.phtml?ysclid=liyohohl8d802303367>.

¹⁶¹ <https://www.kommersant.ru/doc/4374097?ysclid=liyhz5t2sh228246842>.

¹⁶² Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23.08.2021 № 2290-р.

¹⁶³ <https://www.kommersant.ru/doc/6043249>.

¹⁶⁴ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23.08.2021 № 2290-р.

¹⁶⁵ В рамках реализации Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года.

строительство не менее 6 тыс. медленных зарядных станций (44 кВт, время зарядки до 40% от 2 часов) до 2030 года, не менее 29 тыс. быстрых зарядных станций (150 кВт, время зарядки до 80% 20-30 минут).¹⁶⁶ Правительство поручило также оценить целесообразность обязательной установки зарядных станций при строительстве общественных зданий и многоквартирных домов. Планируется предоставить гражданам возможность устанавливать медленные зарядные станции в подземных или наземных паркингах многоквартирных домов без обращения в энергокомпанию. Кроме того, Минэнерго России, Минэкономразвития России и Федеральной антимонопольной службе поручено выработать дополнительные варианты отсрочки оплаты стоимости технологического присоединения заправочных станций к электрическим сетям. Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.21.

Таблица 6.21 Зарядные станции

№	Метрики	Описание
1	Рыночная ниша	В России работают более 7,5 тыс. зарядных устройств, 35 операторов станций зарядки электромобилей (ЭЗС). В 2023-2060 годах их число должно возрасти на 650-3000 в год. В 2022 году построено 439 быстрых зарядных станций в 12 пилотных регионах. К 2024 году количество зарядных станций в России только в рамках пилотного проекта должно составить порядка 3 тыс.
2	Затраты на реализацию технологии	Стоимость зарядной станции для электромобиля составляет от 40 тыс. руб. до 4 млн руб. в зависимости от мощности, предназначения (домашняя или городская) и производителя.
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на десятом уровне технологической готовности. Запущено серийное производство, требуются дальнейшие шаги по распространению продукции.
4	Масштабы производства в России	Агрегированных данных по производству зарядных станций в России нет, но по имеющимся данным, дефицита в покрытии потребности в их установке до 2060 года быть не должно. Мощность завода ООО «Промэнерго» составляет 500 быстрых зарядных станций и 1200 медленных зарядных станций в год. ¹⁶⁷ Кроме того, в России есть несколько компаний, производящих зарядные станции для электромобилей. Среди производителей станций ООО «Пункт Е», ООО ПП «Технопрактика» под брендом «Non-Stop Power», ООО «Геоспейс Технолоджис Евразия» под брендом «Geocharge», ООО «Ива», ООО «Иви-Тайм», ТПХ «Русклимат».
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации не превышает 25%. ООО «Промэнерго» отмечает, что на данный момент локализация их продукции составляет 30 баллов, в 2023 году они планируют вывести уровень локализации на 40-50 баллов.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Необходимая инфраструктура быстро развивается: выделяются площадки для установки зарядных станций, сетевые и трансформаторные мощности. Тем не менее, в отдельных регионах потребуется дополнительное развитие электросетевого хозяйства. Пока нет инфраструктуры для интеграции сетей и электромобилей в целях управления спросом и графиками нагрузки. Законодательство определяет порядок установки зарядных станций на придворовой территории МКД.
7	Масштабы и источники возможного импорта	Поскольку уровень локализации не высок, большой объем комплектующих (около 75%) импортируется. Ранее основными поставщиками были Siemens, Schneider Electric, ABB, ENEL. Теперь им на смену приходят китайские поставщики, такие как SETEC.
8	Перспективы экспорта	Данные об экспорте зарядных станций или оборудования для них отсутствуют.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

¹⁶⁶ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23.08.2021 № 2290-р.

¹⁶⁷ <https://www.elec.ru/catalog/eprom/>.

6.4 Здания

Утеплители. По данным Росстата, производство материалов для утепления и изделий минеральные теплоизоляционных в России выросло в 2017-2022 годах на 31% – с 36 до 47 млн м³. Если использовать утеплитель толщиной 10 см, то объема 50-54 млн м³ хватит для утепления 500-540 млн м² ограждающих конструкций зданий. Этого объема хватает для утепления всех новых зданий. Если бы в процессах капитального ремонта ежегодно утеплялось 2% площади построенных до 2003 года зданий, то потребовалось бы ежегодно производить более 100 млн м³ теплоизоляционных материалов. В табл. 6.22 представлены метрики для описания данной технологии.

Таблица 6.22 Материалы и изделия теплоизоляционные

№	Метрики	Описание
1	Рыночная ниша	По оценкам ЦЭНЭФ-XXI, объем рынка утеплителей к 2060 году может достичь 150 млн м³. Утепление в обязательном порядке применяется при строительстве МКД и инициативно – при строительстве индивидуальных жилых зданий. Помимо нового строительства (140-150 млн м ² в год) имеется большая и почти неосвоенная рыночная ниша для утепления зданий, построенных до 2003 года. Общая площадь жилых помещений, построенных до 2002 года – около 2,9 млрд м ² . Если предположить, что капитальный ремонт будет охватывать 2% (примерно 57 млн м ²), то спрос на рынке может увеличиться вдвое – до 100-112 млн м ³ .
2	Затраты на реализацию технологии	Реализация мер по утеплению оболочки зданий, в т.ч. в процессах капитального ремонта, обходится в среднем в 1000-1200 руб./м² и позволяет получить экономию в размере около 50 кВт-ч/м². ¹⁶⁸ Из-за инфляции и санкций в 2022 году цены на утепляющие материалы выросли в среднем на 21%. Цена 1 м ² пенополистирола начиналась от 178 руб., минеральной ваты – от 191 руб. (+96%), а экструдированного пенополистирола – от 405 руб. В 2023 году цены еще выросли (по некоторым позициям в 2 раза) из-за поломки нескольких производственных линий; вынужденного перехода отдельных производителей на новое программное обеспечение; высокого спроса вследствие активного строительства; высокой цены на дефицитное фенолформальдегидное связующее (важный компонент в процессе производства минеральной ваты). Значительная часть стоимости утепления здания приходится на монтажные работы. Средняя цена работы «под ключ» равна примерно 3000 руб. в расчете на 1 м ² жилой площади.
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на одиннадцатом уровне технологической готовности. Имеется развитая производственная инфраструктура внутри страны, позволяющая удовлетворять внутренний спрос.
4	Масштабы производства в России	В 2017-2021 годах объемы производства утеплителей на территории России составляли 50,5-54,2 млн м³, ¹⁶⁹ включая 36-47 млн м ³ минеральных теплоизоляционных материалов. Около 70% приходится на минеральную вату, 16% - на экструзионный пенополистирол, 11% - на вспененный пенополистирол, еще 3% утеплителей выпускаются на основе полиизоцианурата. В отрасли доминируют три холдинга: «ТехноНИКОЛЬ» (44%); «Роквул» (19%) и «Isoroc/Saint-Gobain» (11%). Кроме того, есть еще десяток заводов «второго эшелона». На протяжении последних десятилетий отрасль активно развивалась и в стране регулярно появлялись новые заводы.

¹⁶⁸ Башмаков И.А., В.И. Башмаков, К.Б. Борисов, М.Г. Дзедзичек, А.А. Лунин, О.В. Лебедев и А.Д. Мышак. Потенциал экономии энергии в МКД России и возможности его реализации. Энергосбережение. №№ 4 и 5. 2023.

¹⁶⁹ <http://www.bestresearch.ru/article/news2017.html>

№	Метрики	Описание
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации в производстве теплоизоляционной продукции составляет 97-98%. ¹⁷⁰ Наименьший уровень локализации производства наблюдался в 2022 году в сегменте минеральной ваты. Все сырье для пенополистирольной теплоизоляции производится в России; частично импортируется только металлургический кокс для каменной ваты.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	В России налажено серийное производство утеплителей из разных материалов, их поставки и монтаж. Имеющиеся мощности способны удовлетворить текущий спрос на тепловую изоляцию. На 2024 год компания «ТехноНИКОЛЬ» запланировала строительство нового завода по производству каменной ваты в особой экономической зоне «Новгородская», что покроет потребности всего Северо-Западного федерального округа. Мощность завода составит 1,5 млн м ³ тепловой изоляции.
7	Масштабы и источники импорта	Объемы импорта в 2021 году составили примерно 2 млн м³, что на 29% выше предыдущего года. ¹⁷¹ Основные поставщики минеральной теплоизоляции в 2021 году – Казахстан, Литва и Беларусь.
8	Перспективы экспорта	В 2021 году экспортировалось около 3,7 млн м³, что на 8% меньше уровня предыдущего года. ¹⁷² Основные покупатели: Казахстан (37%) и Беларусь (19%). Еще 14% пришлось на Европу и Украину. Эти рынки временно потеряны. В 2024 году компания «ТехноНИКОЛЬ» готовится открыть в Казахстане завод, производительность которого составит 1,4 млн м ³ готовой продукции, а значит, экспорт туда резко сократится.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Тепловые насосы. Систематической статистики по объемам применения и производства тепловых насосов в России нет, есть только фрагментарные данные. В 2013 году было продано 1800 тепловых насосов, а в 2017 году – только 850 тепловых насосов, из которых 130 пришлось на аппараты «воздух-вода». Были также проданы 280 установок для подогрева воды в бассейнах. Опыт есть во многих регионах.¹⁷³ По оценке ЦЭНЭФ-XXI, **установленная мощность тепловых насосов в России не превышает 1 МВт.** В табл. 6.23 представлены метрики для описания данной технологии.

¹⁷⁰ Зиганшин А.М и Болдырева Н.Б. Динамика развития рынка теплоизоляционных материалов в РФ. «Экономика и социум», №2(45), 2018. [dinamika-razvitiya-rynka-teploizolyatsionnyh-materialov-v-rf.pdf](#); уровень локализации производства теплоизоляционных материалов - Поиск в Google.

¹⁷¹ <https://dzen.ru/a/YhzSTSDazWW5gSEi>.

¹⁷² Там же.

¹⁷³ Статья ВАК: Российские теплонасосные технологии геотермального теплоснабжения | Архив С.О.К. | 2021 | №9 (с-о-к.ru).

Таблица 6.23 Тепловые насосы

№	Метрики	Описание
1	Рыночная ниша	В России установлено лишь несколько тысяч тепловых насосов , однако имеется большая рыночная ниша для использования данной технологии. Площадь малоэтажных жилых зданий, где могут применяться ТНУ, превышает 470 млн м ² . Базовое удельное энергопотребление на отопление двухэтажного дома при 5000 ГСОП ¹⁷⁴ равно 167 кВт·ч/м ² . Если такой дом утеплить и снизить данный показатель вдвое, то рыночную нишу сектора «жилые здания» можно оценить в 8 ГВт мощности.
2	Затраты на реализацию технологии	По стоимости¹⁷⁵ российское оборудование дороже китайского, но дешевле американских и европейских аналогов. Компания «Thermex Energy» ¹⁷⁶ предлагает геотермальные ТНУ «под ключ» в зависимости от мощности по ценам: COMPACT – 737-1682 долл./кВт; COMPACT L – 583-1390 долл./кВт; PRO – 593-778 долл./кВт. Компания «Стемко» предлагает водяные ТНУ «под ключ» по цене 134-170 долл./кВт, воздушные – от 70 до 100 долл./кВт.
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на девятом уровне технологической готовности. Технология при определенных условиях конкурентоспособна, но масштабы проникновения крайне незначительны, и необходимо прикладывать дополнительные усилия для расширения конкурентного рынка.
4	Масштабы производства в России	В России производство и установка тепловых насосов осуществляется более чем 10 компаниями. Данных по объемам производства тепловых насосов в России нет.
5	Уровень локализации производства	Обобщенных данных по уровню локализации ТНУ в России нет. Можно оценить, что она не превышает 20-30% , поскольку широко используются компрессоры и насосы иностранного производства. В последние годы появляется все больше российских аналогов. В страну продолжает поступать оборудование западных фирм (GRUNDFOSS, DANFOSS) в рамках налаженного параллельного импорта.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	В России налажено серийное производство оборудования, используемого в тепловых насосах. Невысокий уровень спроса позволяет обеспечить производство тепловых насосов в необходимом объеме.
7	Масштабы и источники импорта	Основной источник импорта – тепловые насосы малой мощности китайского производства и комплектующие к ним.
8	Перспективы экспорта	Российские производители ТНУ ориентированы на внутренний рынок.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

«Умные» приборы учета электроэнергии. Росстат дает данные по производству приборов учета. Так, по счётчикам природного газа объемы достигли пика в 2018 году (1,8 млн шт.), а к 2022 году упали до 1,1 млн шт.; по счётчикам жидкости пик также пришелся на 2018 год (14,4 млн шт.), а за ним последовал спад до 7 млн шт. в 2022 году; для счетчиков электроэнергии пик был в 2017 году (9,2 млн шт.), а в 2022 году производство упало до 6,3 млн шт. Однако статистика не дает представления о том, сколько из этого количества приборов были «умными». В табл. 6.24 представлены метрики для описания данной технологии.

¹⁷⁴ Градусосутки отопительного периода.

¹⁷⁵ Помимо стоимости оборудования совокупные затраты включают расходы на составление проекта и проведение строительно-монтажных работ и зависят от большого количества факторов, включая тип ТНУ.

¹⁷⁶ «Thermex Energy».

Таблица 6.24 «Умные» приборы учета электроэнергии

№	Метрики	Описание
1	Рыночная ниша	Энергетические компании обязаны устанавливать в основном «умные» приборы учета электроэнергии. По состоянию на 2022 год было смонтировано только 5,7 млн шт. ¹⁷⁷ Требования законодательства по полному оснащению ими не могут быть выполнены в срок. Если каждое домовладение обеспечить «умным» прибором учета электроэнергии, то нынешняя рыночная ниша равна 70-80 млн единиц . Предполагается, что основной ввод «умных» приборов придется на период до 2030 года, после чего они будут устанавливаться только на новых зданиях и для замены отслуживших свой срок. К концу 2060 года общее количество установленного оборудования может достичь 74 млн единиц. По другим оценкам, в России подлежат замене или первичной установке 18 млн интеллектуальных приборов учета только электроэнергии к 2030 году и до 76-80 млн к 2060 году. Потребность энергосбытовых компаний в таких устройствах оценивается в 5 млн шт. в год. ¹⁷⁸
2	Затраты на реализацию технологии	Цены варьируют от 3 до 10 тыс. руб. В среднем стоимость монтажа оценивается от 2 до 3 тыс. руб. Согласно законодательству, монтаж для потребителя проводится бесплатно, но затраты включаются в тарифы. На стоимость монтажа влияет количество входов контролера, способы передачи информации и другие факторы.
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на одиннадцатом уровне технологической готовности. Имеется развитая производственная инфраструктура внутри страны, позволяющая удовлетворять внутренний спрос; установлены требования по качеству и надежности к выпускаемой продукции.
4	Масштабы производства в России	В 2022-2023 годах компании, входящие в Ассоциацию производителей «умных» приборов учета, гарантированно подтверждали способность выпустить 6 млн единиц. ¹⁷⁹
5	Уровень локализации производства	Менее 40%. Правительство установило задачу по достижению высоких уровней локализации производства «умных» приборов учета к 2024 году. В последние годы российские производители наладили выпуск почти всех комплектующих, необходимых для современных счетчиков (даже специализированных микроконтроллеров), разработаны и внедрены несколько отечественных технологий беспроводной передачи данных. ¹⁸⁰ В то же время из-за меньших тиражей отечественные микросхемы не могут конкурировать с импортными по цене, ¹⁸¹ но принимая во внимание государственную поддержку, можно ожидать решения и этой проблемы в обозримом будущем.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	В стране функционирует не менее 18 предприятий, осуществляющих выпуск интеллектуальных систем учёта и способных полностью покрыть текущие потребности.
7	Масштабы и источники импорта	Более 60% компонентов. Принимая во внимание дальнейшие планы по локализации производства, объемы импортного оборудования будут продолжаться сокращаться.
8	Перспективы экспорта	Компании-лидеры могут осваивать экспортное направление в основном на Ближний Восток.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

¹⁷⁷ <https://rspectr.com/novosti/chislo-umnyh-priborov-ucheta-v-zhkh-v-rossii-vyrastet-do-39-mln-k-2025-godu>.

¹⁷⁸ Холдинг GS Group получил заключение Минпромторга России о производстве микроэлектронных компонентов для умных счетчиков | РУБЕЖ (ru-bezh.ru).

¹⁷⁹ <https://companies.rbc.ru/news/3f197f28-934a-4500-990e-67ca4f6f6e23/mirtek-v-insist-realnoe-importozameschenie-priborov-uchyota-elektroenergii/>; <https://insistenergo.ru/novosti/pervaya-novost.html>.

¹⁸⁰ Производители электроники просят не отодвигать сроки обязательной локализации счетчиков электроэнергии - ООО Компания «Кодекс-Люкс» (kodeks-luks.ru); Впервые на ТЭСЭР «Череповец» в этом году выпускают умные приборы учёта электроэнергии и мощные водогрейные котлы (ia-cher.ru).

¹⁸¹ При условии применения максимально возможного списка компонентов из российской элементной базы прогнозируемая стоимость окажется в разы выше текущей цены существующих продуктов. <https://insistenergo.ru/novosti/pervaya-novost.html>.

Солнечные водоподогреватели (коллекторы). Согласно имеющимся оценкам, мощность всех установленных в России коллекторов не превышает 19 МВт.¹⁸² По другим данным, в 2018 году мощность солнечного теплоснабжения в России составляет 68-70 МВт (85 тыс. м²).¹⁸³ Этот же автор оценивал мощность в 2014 году в 9 МВт (12,5 тыс. м²).¹⁸⁴ Следовательно, прирост мощности равен 3-15 МВт в год. По другим данным, ежегодно устанавливается около 5-15 тыс. м² солнечных коллекторов, в том числе 90% импортных. Наибольшее распространение солнечные коллекторы получили в Симферополе, Краснодарском и Ставропольском краях, Бурятии, Астраханской и Волгоградской областях. В табл. 6.25 представлены метрики для описания данной технологии.

Таблица 6.25 Солнечные водоподогреватели (коллекторы)

№	Метрики	Описание
1	Рыночная ниша	2018-2020 годах суммарно установлено 19-85 МВт фотоэлектрических панелей. Ежегодно устанавливается 5-15 тыс. м². Установка возможна на малоэтажных зданиях в бассейнах в основном в южных регионах России, а также Забайкалье, Приморье, в Восточной Сибири. Рыночная ниша может быть оценена в 2-5 ГВт. Есть оценка емкости рынка до 2030 года в размере 2-10 млн м ² . ¹⁸⁵ Согласно оценкам ООО «ЦЭНЭФ-XXI», к 2060 году общая мощность установленных солнечных водонагревателей может достичь 1,8 ГВт.
2	Затраты на реализацию технологии	Рыночная стоимость гелиосистемы площадью 2 м ² равна 15-30 тыс. руб., ¹⁸⁶ или 45-80 тыс. руб./кВт. Под ключ она стоит в 2 раза дороже. Цена китайских солнечных коллекторов ниже, поэтому они потеснили европейские компании. Существует ценовой паритет продукции российских и китайских производителей.
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на девятом уровне технологической готовности. Технология при определенных условиях конкурентоспособна и может быть коммерчески привлекательной. Объемы проникновения на рынок незначительные и необходимо прикладывать дополнительные усилия для расширения конкурентного рынка.
4	Масштабы производства в России	Прирост мощности равен 3-15 МВт, или 5-15 тыс. м² в год. Основные российские производители солнечных коллекторов: ООО «СоларИннТех»; ЗАО «Телеком-СТВ»; ОАО «Рязанский завод металлокерамических приборов»; ООО «Солнечный ветер», ОАО «Сатурн»; НПП «Квант» и др.
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации невысокий – в основном российские компании собирают продукцию из импортных комплектующих. Единственная компания («НОВЫЙ ПОЛЮС») вывела на рынок солнечный коллектор с вакуумными трубками «Solar Vac», уровень локализации производства которого 100%. Производство абсорберов (основного элемента гелиосистем) в стране не налажено.

¹⁸² Weiss W., M. Spörk-Dür. 2022. SOLAR HEAT WORLDWIDE. Global Market Development and Trends. 2021. Detailed Market Figures 2020. 2022 Edition AEE - Institute for Sustainable Technologies 8200 Gleisdorf, Austria. May 2022.

¹⁸³ Бутузов В. А. Солнечное теплоснабжение: статистика мирового рынка и особенности российского опыта // Теплоэнергетика, 2018. № 10. С. 78–88; Бутузов В.А., Бутузов В.В. Использование солнечной энергии для производства тепловой энергии. — М.: Интехэнерго-Издат, 2015. 314 с. Источник: <https://www.c-o-k.ru/articles/vozobnovlyаемая-energetika-rossii-v-2020-godu-obzor>; <https://www.c-o-k.ru/articles/gelioustanovki-v-rossii-analiz-rezultatov-sooruzheniya-v-20182019-godah>; Гелиоустановки в России: анализ результатов сооружения в 2018–2019 годах | Архив С.О.К. | 2020 | №2 (с-о-к.ru).

¹⁸⁴ Бутузов В. А. Потенциал солнечного теплоснабжения в России. «Новости теплоснабжения» № 5, 2015 г., <http://www.nts.ru/>.

¹⁸⁵ Там же.

¹⁸⁶ <https://slarkenergy.ru/solar/collector/rossijskogo-proizvodstva.html>.

№	Метрики	Описание
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Предприятия на территории страны занимаются в основном сборкой и установкой. Инфраструктуры для производства и установки солнечных коллекторов в больших объемах еще нет.
7	Масштабы и источники импорта	В 2021 году объем импорта солнечных коллекторов в Россию составил 2878 шт. На долю вакуумных моделей пришлось 60%. До последнего времени основными поставщиками были Германия и Китай. ¹⁸⁷ Остальная продукция поступает в основном из Италии, Болгарии, Венгрии и др.
8	Перспективы экспорта	Экспорт солнечных коллекторов из России осуществляется в очень незначительных объемах. До недавнего времени основным направлением экспорта солнечных коллекторов была Украина.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Фотоэлектрические панели для децентрализованного электроснабжения. По оценкам ЦЭНЭФ-XXI, объем микрогенерации на СЭС в России в 2020 году составил 50-75 млн кВт-ч (25-30 МВт), а генерация на ВИЭ для собственных нужд организаций – еще 200 млн кВт-ч (100 МВт). К 2024 году ожидался рост этих рынков до 130-350 млн кВт-ч (100-200 МВт) и до 480-800 млн кВт-ч (300-500 МВт) соответственно.¹⁸⁸ По оценкам Атомстройэкспорт, к концу 2022 года рынок децентрализованных коммерческих СЭС достиг 100 МВт и ежегодно растет на 50 МВт.¹⁸⁹ По другим оценкам, в России ежегодно устанавливают 30 МВт солнечных панелей.¹⁹⁰ По оценке «Хевел», объем рынка микрогенерации по итогам 2020 года составил 50–60 МВт, основная часть мощности приходится на объекты юридических лиц, а на частные домовладения – 10-15 МВт.¹⁹¹ Ассоциация предприятий солнечной энергетики оценила, что к концу 2021 года суммарная мощность микрогенерации в России может достичь 23 МВт.¹⁹² Минэнерго России рассматривало варианты доведения мощности микрогенерации на СЭС до 1 ГВт к 2030 году, для чего даже оценивалась целесообразность субсидирования покупки гражданами (100 тыс. домохозяйств) солнечных батарей у российских производителей.¹⁹³ Домохозяйствам-просьюмерам законодательство дает возможность отпуска избытка электроэнергии в сеть, но по оптовым тарифам. Такая схема непривлекательна,¹⁹⁴ поэтому владельцы микрогенерации используют объекты в основном для собственных нужд. В табл. 6.26 представлены метрики для описания данной технологии.

¹⁸⁷ Бутузов В. А. Солнечное теплоснабжение: статистика мирового рынка и особенности российского опыта // Теплоэнергетика, 2018. № 10. С. 78–88.

¹⁸⁸ ЦЭНЭФ-XXI. 2021. Возобновляемые источники энергии – их место и роль в процессе трансформации энергетической промышленности России. Работа выполнена по контракту с Немецким энергетическим агентством ГмБХ (Deutsche Energie-Agentur GmbH, dena).

¹⁸⁹ Солнечная энергетика (рынок России) (tadviser.ru).

¹⁹⁰ Рынку недокадывают солнца – Коммерсантъ (kommersant.ru); В РФ большинство владельцев солнечных батарей не хотят делиться излишками энергии / Хабр (habr.com).

¹⁹¹ Будет ли в России рынок солнечной микрогенерации для населения? (treda.ru).

¹⁹² Подобрать луч: в РФ могут появиться субсидии на солнечные батареи для граждан | Солнечная энергетика - НАНГС (nangs.org).

¹⁹³ Для жителей России могут появиться субсидии на установку солнечных батарей - Recycle (recyclemag.ru).

¹⁹⁴ Сбытовые компании покупают эту электроэнергию примерно по 2,5 руб./кВт-ч при розничной цене для населения 6-10 руб. и ограничениях на объем выдачи в сеть 15 кВт. При таких ценах СЭС окупаются даже в «несолнечных» регионах за 5-7 лет при сроке эксплуатации 25–30 лет.

Таблица 6.26 Фотоэлектрические панели

№	Метрики	Описание
1	Рыночная ниша	Нынешняя рыночная ниша сегмента распределенной и микрогенерации – 250-300 млн кВт-ч (125-230 МВт). По оценкам Минэнерго России, она могла бы вырасти только для сегмента домохозяйств до 1 ГВт к 2030 году. По оценкам «ЦЭНЭФ-XXI», к 2060 году мощность установленных фотоэлектрических панелей может достичь 4 ГВт, а выработка только на зданиях разного назначения – превысить 45 млрд кВт-ч. ¹⁹⁵
2	Затраты на реализацию технологии	Цены группируются в интервале от 5 до 6 тыс. руб. за 100 Вт. ¹⁹⁶ В США стоимость установки «под ключ» начинается от 60 тыс. руб./кВт, т.е. также 6 тыс. руб./100 Вт. ¹⁹⁷ При установке накопителя цены поднимаются до 9-12 тыс. руб. за 100 Вт.
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на десятом уровне технологической готовности. Имеется развитая производственная инфраструктура, но проникновение на рынок крайне незначительное и требуются дальнейшие шаги по расширению масштабов рынка.
4	Масштабы производства в России	Нынешние масштабы производства солнечных панелей в России равны 700 МВт в год. ¹⁹⁸ Из них половина – 350 МВт – приходится на завод полного цикла компании «Хевел» в г. Новочебоксарск. Кроме того, панели производят ЗАО «Телеком-СТВ»; Рязанский завод металлокерамических приборов; Завод «Сатурн» (Краснодар); ООО «Витасвет»; Завод «Термотрон» (г. Брянск) и др. В Калининградской области завершается строительство завода «ЭНКОР», который будет выпускать кремниевые пластины и солнечные ячейки для сборки солнечных модулей. Мощность завода – 1,3 ГВт кремниевых пластин и 1 ГВт солнечных ячеек. ¹⁹⁹ Тогда мощности производства солнечных панелей в России вырастут до 1,7 ГВт в год. ²⁰⁰ Производители постепенно «обрастают» местными поставщиками. Изготовление инверторов для солнечных электростанций осуществляет ООО «Спутник-Интеграция» (г. Пермь). ООО «ПК Электрум» (г. Самара) поставляет блочно-модульные инверторные установки на базе технологии Horewind. ООО «Парус электро» (г. Москва) производит системы бесперебойного питания переменного и постоянного тока, аккумуляторные батареи, телекоммуникационные шкафы. ЗАО «МНПО «Энергоспецтехника» (г. Москва) выпускает устройства преобразования и распределения электроэнергии для солнечных электростанций. ЗАО «ГК «Электроцит» (г. Самара) осуществляет поставки блочно-модульных инверторных станций в рамках проекта локализации производства электротехнического оборудования Schneider Electric для российского рынка. Поставки коммутационных шкафов постоянного тока осуществляют российские предприятия ООО «ЗИТ» (Чувашская Республика); ООО «МИР ИТ» (г. Москва); ООО «НПО «Сибэлектроцит» (г. Омск); ООО НПП «ЭКРА» (г. Чебоксары); ООО «Про-Ток» (г. Красноярск); ООО «Спутник-Комплектация» (г. Пермь). Солнечный кабель поставляют ООО «Томский кабельный завод» (г. Томск) и ТД «Ункомтех» (АО «Иркутсккабель», АО «Кирскабель»). Опорные и поворотные конструкции для установки солнечных модулей также производятся в России. Поставщиками опорных конструкций для СЭС также выступают литейно-прессовый завод «Сегал» (г. Красноярск) и ООО «Предприятие «ПИК» (г. Нижний Новгород).

¹⁹⁵ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichek, A. Lunin, I. Govor. 2022. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENEF-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060/>; Башмаков И. Россия на пути к углеродной нейтральности: три четверки и одна двойка. Нефтегазовая вертикаль. № 11, 2022; Башмаков И. Сценарии движения России к углеродной нейтральности. Энергосбережение. № 1, 2023.

¹⁹⁶ Группа компаний «Хевел» (hevelsolar.com).

¹⁹⁷ Barbose G., N. Darghouth, E. O'Shaughnessy, and S. Forrester. Tracking the Sun. Pricing and Design Trends for Distributed Photovoltaic Systems in the United States. 2022 Edition. Lawrence Berkeley National Laboratory. September 2022.

¹⁹⁸ В 2020 году в России построили новые «зеленые» электростанции - Российская газета (rg.ru).

¹⁹⁹ Зачем России гигаваттный завод по производству кремниевых пластин и фотоэлектрических ячеек? / Хабр (habr.com).

²⁰⁰ По предварительному прогнозу, в 2023 году объем глобальных поставок солнечных модулей может составить примерно 440 ГВт. ТОП-10 производителей отгрузили 245 ГВт солнечных панелей в 2022 году - RenEn.

№	Метрики	Описание
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации СЭС в 2023 году равен примерно 70%. Высокого уровня локализации производства достиг завод компании «Хевел» в Новочебоксарске. Нормативные требования по локализации распространяются только на сетевые СЭС. В 2021 году система оценки уровня локализации изменилась с процентной на балльную. К 2035 году для участия в конкурсных отборах уровень локализации должен достигать 120 баллов при максимуме 140 баллов, то есть 86%.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Налажено серийное производство оборудования, используемого в фотоэлектрических панелях, услуги по его установке, эксплуатации и ремонту.
7	Масштабы и источники импорта	Основная страна-поставщик фотоэлектрических панелей и комплектующих к ним – Китай. Импорт для домохозяйств и бизнеса для собственного энергоснабжения из Китая в Россию в 2022 году составил 20 МВт (2020 г. – 26,6 МВт, 2021 г. – 34,1 МВт). ²⁰¹ Проблем с поставками китайских солнечных панелей нет, но европейские инверторы приходится возить через третьи страны.
8	Перспективы экспорта	Для сетевых СЭС в рамках второго этапа программы поддержки (ДПМ ВИЭ 2.0) внедрены целевые показатели экспорта и штрафы за их несоблюдение. Для СЭС на 2025 год целевой показатель равен 20%, а на 2031-2035 годы – 300%. ²⁰² Это означает, что не весь объем производства фотоэлектрических панелей должен быть предназначен для внутреннего рынка. С 2018 года гетероструктурные солнечные модули и ячейки завода «Хевел» экспортируются в Австрию, Германию, Италию, Польшу, Швейцарию, Швецию, Индию, Таиланд, Японию, Казахстан. Еще в 2017 году компания планировала направлять до 10% от общего объема выпуска продукции на экспорт. ²⁰³ Предполагалось, что продукция нового завода «ЭНКОР Групп» в Калининградской области будет ориентирована преимущественно на экспорт, но с учетом санкций есть основания полагать, что объемы поставок на экспорт будут заметно ниже первоначальных оценок.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Автоматизированное регулирование подачи тепла в здания (АИТП). Автоматическое регулирование систем теплоснабжения предполагает оснащение многоквартирных домов автоматическими узлами управления системами отопления (АУУ) и автоматизированными индивидуальными тепловыми пунктами (АИТП), осуществляющими регулирование систем отопления и горячего водоснабжения. Такие системы востребованы в многоквартирных домах, «страдающих» от регулярного перетапливания, что больше всего ощущается в переходные периоды времени. Согласно данным Министерства экономического развития Российской Федерации,²⁰⁴ в 2021 году число АИТП в зданиях бюджетной сферы составило 81,2 тыс. (24%), а число МКД, оборудованных ИТП, – 197,2 тыс. (22%). В 2021 году первый показатель не вырос, а второй – вырос на 12%, или почти на 24 тыс. Данных по коммерческим зданиям нет, но можно допустить, что суммарно годовая рыночная ниша в последние годы равна примерно 30 тыс. АИТП в год. По данным за 2017 год можно произвести косвенную оценку. Доходы 15 ведущих производителей

²⁰¹ Коммерсантъ: «Импорт солнечных панелей из КНР в Россию в 2022 году снизился на 41% до 20 МВт» (peretok.ru).

²⁰² Определяется как отношение выручки от экспорта промышленной продукции, приходящейся на генерирующий объект, к величине, равной произведению планового годового объема производства электрической энергии и показателя эффективности генерирующего объекта. Экспортная выручка определяется в рублевом выражении как совокупный доход от экспорта промышленной продукции и (или) работ (услуг, выполняемых (оказываемых) при проектировании, строительстве и монтаже СЭС. АРВЭ. Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития. Информационный бюллетень, июль 2022. Бюллетень Интерактивный 2022 (1).pdf.

²⁰³ <https://nangs.org/news/renewables/solar/effekt-geteroperekhoda-khevel-planiruet-nachat-eksport-solnechnykh-modulej-k-kontsu-2017-g>.

²⁰⁴ Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Российской Федерации в 2021 году, стр. 7.

составили немногим менее 15 млрд руб. Если предположить, что стоимость установки АИТП мощностью 1 Гкал/ч стоит 1 млн руб., то совокупный объем годового выпуска ведущими производителями может быть оценен в 15-30 тыс. единиц. По данным реализованных в России проектов получается, что установка АИТП дает в среднем экономию тепловой энергии в размере 17%.²⁰⁵ Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.27.

Таблица 6.27 Автоматизированное регулирование подачи тепла в здания

№	Метрики	Описание
1	Рыночная ниша	Установка 30 тыс. АИТП в год. Подавляющая часть новых многоквартирных домов оснащена системами автоматического регулирования. По оценке «ЦЭНЭФ-XXI», в перспективе объемы применения могут увеличиться до 32-34 тыс. единиц.
2	Затраты на реализацию технологии	Стоимость АИТП варьирует в широких пределах и в основном зависит от мощности, а также от производителя устанавливаемого оборудования и сложности монтажа. Согласно данным с сайта компании «Климарт», ²⁰⁶ цены на автоматизированные индивидуальные тепловые пункты варьируют в пределах 0,5-1,5 млн руб. для установок мощностью 0,3 Гкал/ч и составляют 7 млн руб. для установок мощностью 8 Гкал/ч. Автоматизированные узлы управления системами отопления при прочих равных стоят дешевле, поскольку на них не требуется устанавливать оборудование для систем горячего водоснабжения. В среднем их стоимость ниже на 30%. Цены «под ключ» также включают затраты на монтажные и пусконаладочные работы. Цена на АИТП «под ключ» варьирует в пределах от 1,5 до 2 млн руб.
3	Уровень технологической готовности	Технология находится на одиннадцатом уровне технологической готовности. Имеется развитая производственная инфраструктура внутри страны, позволяющая удовлетворять внутренний спрос; установлены требования по качеству и надежности к выпускаемой продукции.
4	Масштабы производства в России	Масштабы установки АИТП равны в среднем 30 тыс. единиц в год. Они комплектуются как из российских, так и из импортных компонентов. В пятерку лидеров по производству блочных АИТП в 2017 году входили: ООО «ВЕЗА»; АО «Альфа Лаваль Поток»; АО «Ридан»; ООО «Кельвион Машинпекс»; ООО «НПО «ЭТРА». ²⁰⁷
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации можно оценить в 60-80%. В состав основного оборудования АИТП входят: приборы учета, теплообменники, насосы, трубопроводы, контроллеры и датчики. Из импортного оборудования применяются теплообменники и насосы компаний «Альфа Лаваль», GRUNDFOS, DANFOSS, Siemens и др. В течение десятилетий эти компании активно проводили локализацию производства, повышая долю комплектующих, производимых на территории России. В силу политических причин ряд компаний (GRUNDFOS, DANFOSS) ушли с внутреннего рынка. Российские заводы увеличивают уровень локализации. Так, на заводе компании «Союзгидравлика» после установки нового оборудования он повысился с 45 до 89%. Аналогичные процессы происходили в секторе производства теплообменного оборудования. Так, один из ведущих производителей («Альфа-Лаваль») полностью локализовал производство на территории страны. ²⁰⁸ Компания DANFOSS на своих заводах по многим комплектующим достигла уровня локализации 85-95%. ²⁰⁹

²⁰⁵ Башмаков И.А., В.И. Башмаков, К.Б. Борисов, М.Г. Дзедзичек, А.А. Лунин, О.В. Лебедев и А.Д. Мышак. Потенциал экономии энергии в МКД России и возможности его реализации. Энергосбережение. №№4 и 5. 2023; Башмаков И.А., К.Б. Борисов, М.Г. Дзедзичек, А.А. Лунин, О.В. Лебедев, А.Д. Мышак. Эконометрический анализ влияния отдельных факторов на удельные показатели использования энергии в общественных зданиях. Энергосбережение № 6–2020.

²⁰⁶ <https://clim-art.ru/otoplenie/individualniy-teplovoy-punkt-itp/kupit-cena-stoimost/>.

²⁰⁷ <https://vestnikstroy.ru/articles/ratings/15765/>.

²⁰⁸ <https://www.alfalaval.ru/media/news/2015/100/>.

²⁰⁹ <https://ridan.ru/danfoss-in-russia>.

№	Метрики	Описание
6	Наличие необходимой инфраструктуры	В России налажено серийное производство АИТП. Имеющиеся мощности способны удовлетворить внутренний спрос , который определяется, главным образом, объемами строительства и масштабами программ энергоэффективного капитального ремонта.
7	Масштабы и источники возможного импорта	На импортные компоненты приходится 20-40% стоимости АИТП. Сведений об импорте отдельных видов оборудования для АИТП в открытом доступе нет. Курс на локализацию производства комплектующих дает основания полагать, что доля импорта будет снижаться.
8	Перспективы экспорта	Сведений об экспорте автоматизированных узлов управления системами отопления и индивидуальных тепловых пунктов нет.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

6.5 Водород

По данным Росстата, в России в 2021-2022 годах производилось около 2,4 млрд м³ водорода, или 0,21-0,22 млн т, или 0,2% мирового производства в эти годы. Производство «голубого водорода» в 2021 году составило 0,174 тыс. т, производство «бирюзового», «желтого», «зеленого» водорода практически отсутствовало. После начала военной операции в Украине многие потенциальные экспортные рынки сбыта водорода оказались (как минимум временно) закрытыми. Поэтому, согласно как анализу МЭА, так и «актуализированной» *«Комплексной программе развития отрасли низкоуглеродной водородной энергетики в Российской Федерации до 2035 года»*, к 2030 году оценки производства низкоуглеродного водорода снижены до 550 тыс. т в год, и практически весь этот объем предполагается направить на внутреннее потребление, а при его производстве сделать упор на собственные технологические компетенции. Эта оценка довольно близка к оценке ЦЭНЭФ-XXI для сценария 4D – 385 тыс. т в 2030 году. В этом сценарии производство водорода к 2060 году растет до 1,3 млн т. Для реализации этих планов потребуются ежегодные вводы мощностей по производству «голубого» водорода с CCUS – 11 тыс. т в 2031-2040 годах, 26 тыс. т в 2041-2050 годах, 42 тыс. т в 2051-2060 годах, а «зеленого» водорода – 1 тыс. т в 2031-2040 годах, 4 тыс. т в 2041-2050 годах и 17 тыс. т в 2051-2060 годах. Объемы ежегодного ввода систем хранения водорода – 2,9 тыс. т в 2031-2040 годах, 3,2 тыс. т в 2041-2050 годах, 3,1 тыс. т в 2051-2060 годах. Объемы ежегодного ввода систем транспорта водорода – 34 тыс. т в 2031-2040 годах, 54 тыс. т в 2041-2050 годах, 73 тыс. т в 2051-2060 годах. Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.28.

Таблица 6.28 Водород

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	Оценки производства низкоуглеродного водорода – 0,37 млн т к 2030 году, 0,66 млн т к 2040 году, 0,97 млн т к 2050 году, 1,29 млн т к 2060 году.
2	Затраты на реализацию технологии	Согласно данным МЭА, удельные капитальные вложения на производство «зеленого» водорода составляет 3-9 долл./кг, «голубого» (с использованием природного газа с технологией захвата и хранения углерода) – 2,0-3,5 долл./кг, «бирюзового» – 1,5-2,5 долл./кг, «желтого» – 1,0-3,0 долл./кг. Они будут заметно снижаться по мере роста масштаба производства и совершенствования технологий. Оценки затрат на реализацию технологии ввода систем хранения и транспорта в России неизвестны, так как такие проекты имеют уникальный характер. Удельные капитальные затраты на системы хранения и транспорта водорода могут варьироваться в зависимости от типа системы и масштаба проекта. ²¹⁰ В некоторых случаях – для проектов среднего масштаба – удельные капитальные затраты на системы хранения и транспорта водорода составляют около 1,5-2,5 долл./кг водорода.
3	Уровень технологической готовности	Уровень технологической готовности для производства «голубого» водорода – 9, «зеленого» – 8, систем хранения и транспорта водорода – 8.
4	Масштабы производства в России	В России в 2021-2022 годах производилось 0,21-0,22 млн т. Атлас Минпромторга России насчитывает 32 новых проекта по производству «зеленого» и «голубого» водорода в разных регионах РФ в период с 2024 по 2030 годы. ²¹¹ По системам хранения и транспорта в России существуют лишь несколько отдельных проектов: проект «Хайтек-парк» в Сколково, в рамках которого планируется создание инновационного центра по разработке и производству систем хранения и транспорта водорода; проект «Разработка технологии производства и использования водорода в энергетическом секторе» в Национальном исследовательском техническом университете «МИСиС», который нацелен на разработку новых технологий для производства и использования водорода в энергетическом секторе. Проект «Водородная энергетика» в Санкт-Петербургском политехническом университете, который проводит исследования по системам хранения и транспорта водорода, а также по созданию инфраструктуры для его использования в энергетике; проект «Арктический водородный парк» в Мурманской области, направленный на создание инфраструктуры для хранения и транспортировки водорода в Арктическом регионе; проект «Русский водород» в Республике Башкортостан, который нацелен на разработку технологии производства, хранения и использования водорода и включает строительство и эксплуатацию гидролизных установок, систем транспортировки и хранения водорода; проекты «Газпрома», в которых проводятся работы по разработке и строительству систем хранения и транспорта водорода, включая технологии сжатого газа и жидкого водорода.
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации производства водорода высокий, а производства электролизеров для водорода – низкий.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	В России только начинается создание инфраструктуры для производства и использования водорода за пределами нефтепереработки и нефтегазохимии. «Минпромторг России совместно с субъектами Российской Федерации, а также с промышленными и энергетическими организациями, курирует более 40 проектов по производству низкоуглеродного и безуглеродного водорода и аммиака из различного сырья. На создание необходимой инфраструктуры нацелена «Комплексная программа развития отрасли низкоуглеродной водородной энергетики в Российской Федерации до 2035 года», которая была утверждена Постановлением Правительства РФ от 08.02.2021 № 163.

²¹⁰ Согласно IEA. The Future of Hydrogen. June 2019. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.hydrogenexpo.com/media/9370/the_future_of_hydrogen_ia.pdf.

²¹¹ Атлас российских проектов по производству низкоуглеродного и безуглеродного водорода и аммиака, Минпромторг России, 2021. <https://minpromtorg.gov.ru/docs/docs/?pdfModalID=663f0df0-8439-4152-a8ea-2c4d0d36ffe4&fileModalID=008cee19-8ce0-4107-9013-74288ef21298>.

№	Метрика	Описание
7	Масштабы и источники возможного импорта	Импорт водорода в Россию не планируется.
8	Перспективы экспорта	Планы по экспорту водорода на порядок снижены. Первоначально Россия планировала занять пятую часть мирового рынка водорода и ориентировалась на следующие объемы экспорта: до 0,2 млн т в 2024 году, 2-12 млн т в 2035 году и 15-50 млн т в 2050 году. Довольно быстро стало понятно, что такие планы избыточно амбициозны. Во-первых, весь глобальный объем экспорта водорода на 2030 год оценен в 12 Мт. ²¹² Во-вторых, было показано, что выход даже на нижнюю границу диапазона для 2050 года является предельно сложной задачей: даже если половина производства водорода в России к 2060 году (15,8 млн т) будет «голубой», то дополнительная потребность в электроэнергии для производства и «голубого», и «зеленого» водорода составила бы 350 млрд кВт-ч, или треть сегодняшней выработки электроэнергии в России. ²¹³ Многие потенциальные западные рынки сбыта водорода оказались (как минимум временно) закрытыми, а технологическое сотрудничество с западными партнерами – свернутым.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Электролизеры. В 2021 году производственная мощность электролизеров в мире составила около 8 ГВт, а в 2022 году она увеличилась до 11 ГВт. Объявленные на конец первого квартала 2023 года проекты позволят увеличить ее на 125-134 ГВт к 2030 году.²¹⁴ Доля Китая в установленной мощности электролизеров – 40%. Данных по установленной мощности электролизеров в России нет. Первый бесщелочной серийный электролизер компания «Поликом» установила в 2020 году в Центре компетенций НТИ «Новые и мобильные источники энергии» при ИПХФ РАН в качестве элемента первой в России водородной заправки в Черноголовке²¹⁵ (производительностью 6 м³ в час). Таким образом, заправку удалось сделать полностью автономной. В 2021 году протонообменный электролизер был установлен в ФИЦ ПХФ и МХ РАН. В 2022 году «Поликом» установил бесщелочной электролизер для охлаждения электрогенераторов Кольской АЭС в контейнерном исполнении производительностью 10 м³ водорода в час.²¹⁶ Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.29.

²¹² Атлас российских проектов по производству низкоуглеродного и безуглеродного водорода и аммиака, Минпромторг России, 2021. <https://minpromtorg.gov.ru/docs/docs/?pdfModalID=663f0df0-8439-4152-a8ea-2c4d0d36ffe4&fileModalID=008cee19-8ce0-4107-9013-74288ef21298>.

²¹³ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichok, A. Lunin, I. Govor. 2022a. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENEF-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060>.

²¹⁴ IEA. Global Hydrogen Review 2022 [Global Hydrogen Review 2022 \(windows.net\)](https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022).

²¹⁵ <https://vodorod.pro/novosti/zapravimsja-vodorodom-v-chernogolovke.html>.

²¹⁶ <https://vodorod.pro/novosti/elektrolizer-kompanii-polikom-ustanovlen-na-kolskoj-aes.html>.

Таблица 6.29 Электролизеры

№	Метрика	Описание
1	Рыночная ниша	Установленная мощность электролизеров оценена в 25 МВт, а годовой объем вводов – в несколько МВт. Объем ежегодного ввода электролизеров – 8 МВт в 2031-2040 годах, 35 МВт в 2041-2050 годах, 146 МВт в 2051-2060 годах.
2	Затраты на реализацию технологии	Удельные капитальные вложения в мощности по производству электролизеров для водорода составляют 500-1000 долл./кВт. ²¹⁷ Они будут заметно снижаться по мере роста масштаба производства и совершенствования технологий. Так, Siemens и ITM Power заявляют о цели снизить стоимость электролизеров до 200 долл./кВт к 2025 году. Оценки затрат на реализацию технологии в России неизвестны, так как производство электролизеров для водорода в России носит штучный характер.
3	Уровень технологической готовности	Технология PEM-электролизеров для водорода находится на 8-м уровне готовности, а щелочных-электролизеров – на 9-м. Имеется производственная и эксплуатационная инфраструктура; установлены нормативные требования к надежности; запущено коммерческое производство, однако требуются дальнейшие усилия по переходу от штучного производства к выпуску серий.
4	Масштабы производства в России	Статистики о масштабах производства электролизеров для водорода в России нет. Статус технологии электролизеров для водорода в России – это опытные образцы или отдельные экземпляры, выпускаемые компаниями «Поликом», «Русский Гидроген», «Альфа-Энерго» и др.
5	Уровень локализации производства	Уровень локализации электролизеров для водорода в России низкий, но есть исключения: производство бесщелочных электролизеров компанией «Поликом» в сотрудничестве с «Росатомом». До 2022 года водородные электролизеры поставлялись в нашу страну в основном из США, Китая, Бельгии, Италии. После введения санкций западные компании перестали продавать оборудование и оказывать сервисную поддержку. Постепенно появляются отечественные разработки. «Поликом» существенно локализовал производство. ²¹⁸ Если ранее компания занималась только продажей иностранных электролизеров, то с 2020 года она начала выпускать свои электролизеры. Однако электролизный модуль пока приходится импортировать. «Поликом» оценивает потребность российского рынка в электролизерах в ближайшие 3 года в 10–20 машин в год, а основными конкурентами считает китайских производителей. «Газпром» планирует создать собственное производство мембран для электролизеров для водорода.
6	Наличие необходимой инфраструктуры	В России активно создается серийное производство электролизеров, как бесщелочных (на производственных мощностях компании «Поликом» в сотрудничестве с «Росатомом»), так и щелочных (строятся заводы в Хабаровске на базе АФК «Система» и в Калужской области при поддержке «Русгидро»). Наличие необходимой инфраструктуры идет в рамках реализации Комплексной программы развития отрасли низкоуглеродной водородной энергетики в Российской Федерации до 2035 года, которая была утверждена Постановлением Правительства РФ от 08.02.2021 № 163.
7	Масштабы источники возможного импорта	При производстве щелочных электролизеров для водорода, производимых в России, в настоящее время в значительной степени используются импортные комплектующие. Эта доля снижается. Основными источниками импорта являлись: Германия (мембраны, электроды и катализаторы); Япония (высокоточное электронное оборудование); Китай (мембраны, электроды и почти все другие компоненты). Кроме того, комплектующие завозились из США, Кореи, Нидерландов и др. стран.
8	Перспективы экспорта	Планы по экспорту электролизеров существуют только на отдаленную перспективу. О таких планах упоминали «Газпром», «РусГидро», «Титан-2», «ОАК», «НИИМЭ» (Научно-исследовательский институт молекулярной электроники) и «Поликом».

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

²¹⁷ Отчет Международного Агентства по Возобновляемой Энергии (IRENA) «Hydrogen from Renewable Power: Technology Outlook for the Energy Transition», 2020. <https://www.irena.org/Publications/2019/Sep/Hydrogen-A-renewable-energy-perspective>; IEA. 2020. G20 Hydrogen report: Assumptions.

²¹⁸ <https://telegra.ph/Lokalizovat-vodorod-02-02>.

6.6 CCUS

Как в мире в целом, так и в России, рынок CCUS только зарождается. В мире масштабы применения этой технологии ограничены объемом 45 млн т CO₂ в год. Функционируют 35 объектов с работающими установками CCUS.²¹⁹ Половина действующей установленной мощности приходится на США (20,5 млн т), также в лидерах Бразилия (8,7 млн т) и Австралия (4 млн т).²²⁰

Важным индикатором повышения внимания к этой технологии в России стало создание в феврале 2022 года по инициативе 23 компаний ТЭК технического комитета №239, который занимается тематикой CCUS. Его основная задача – создание фонда документов национальной системы стандартизации в области технологий CCUS.²²¹ На 2022 год были запланированы разработка и ввод ряда ГОСТов.²²² С некоторым опозданием, но все же были они приняты, в т.ч.:

- Общие термины;
- Системы, технологии и процессы улавливания диоксида углерода;
- Методы оценки эффективности улавливания CO₂ из отходящих газов установок по сжиганию топлива;
- Методика оценки стабильности работы блоков по улавливанию CO₂ из отходящих газов установок по сжиганию топлива;
- Состав потока CO₂ после блоков улавливания и очистки.

Запланированные к вводу в 2023 году ГОСТы, посвященные CCUS в отдельных отраслях промышленности, еще не введены. Основные метрики этой технологии представлены в табл. 6.30.

²¹⁹ <https://www.iea.org/reports/carbon-capture-utilisation-and-storage-2>.

²²⁰ МЭА, инструмент для анализа проектов CCUS в мире: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/ccus-projects-explorer>.

²²¹ <https://www.gostinfo.ru/News/Details/1442>.

²²² https://spmi.ru/sites/default/files/zashita/Zhdaneev/zhdaneev_statya_70.pdf.

Таблица 6.30 Системы захвата, использования и хранения углерода

№	Метрики	Описание
1	Рыночная ниша	По данным Росстата, в 2022 году в России произведено 1,4 млн т диоксида углерода.²²³ Кроме того, в процессах производства аммиака было захвачено и использовано на производство карбамида еще 6,9 млн т. Объем ежегодного ввода технологии в сценарии углеродной нейтральности равен 0,9 млн т CO ₂ в 2031-2040 годах, 2,29 млн т CO ₂ в 2041-2050 годах, 2,1 млн т CO ₂ в 2051-2060 годах.
2	Затраты на реализацию технологии	Оценки затрат на реализацию технологии очень разнятся. Эмпирических данных для проведения оценки крайне мало. Самый дорогой этап – улавливание. В российском подразделении консалтинговой компании ILF обчислили несколько теоретических кейсов установки CCUS на газовых и угольных ТЭЦ и на сталелитейном производстве. Были получены значения <i>levelized costs</i> от 37 до 87 долл./т CO ₂ , наиболее дорогим оказалось улавливание на газовой ТЭЦ. ²²⁴ По оценкам, полученным в подобном исследовании для ЕС, улавливание тонны CO ₂ обходится в 35-77 евро/тCO ₂ в зависимости от вида сжигаемого топлива (уголь/газ) и того, является ли источник выбросов частью кластера или одиночным объектом. ²²⁵ МЭА показывает оценку в 50-100 долл./тCO ₂ в секторе генерации электро- и теплоэнергии и 40-100 долл./т в черной металлургии. ²²⁶ Затраты на транспортировку и хранение составляют до 25% от общей стоимости CCUS. Стоимость транспортировки зависит от используемой технологии и от объемов перевозки (пилотный или крупномасштабный проект). Затраты на хранение зависят от выбранного варианта коллектора (минерализованный водоносный слой или истощенное нефтегазовое месторождение), его расположения, наличия инфраструктуры и физических характеристик. ²²⁷
3	Уровень технологической готовности	Технологии CCUS в мире находятся на разных уровнях развития. На уровне раннего внедрения (TRL 9) находятся технологии абсорбции в производстве метанола и аммиака, железа прямого восстановления; мембраны. На стадии малых и больших прототипов и демонстрации находятся технологии улавливания углерода при производстве цемента (TRL 7). ²²⁸ Существуют и технологии, находящиеся на более ранних этапах, например, на этапе малого прототипа (TRL 4) находится технология мембранного разделения при производстве цемента.

²²³ ЕМИСС, показатель «Производство основных видов продукции в натуральном выражении с 2017 г. (оперативные данные в соответствии с ОКПД2)».

²²⁴ https://creon-group.com/wp-content/uploads/2022/06/2022-06-10-ssus-2022_final_edited_ak_rebuild.pdf.

²²⁵ ZEP Zero emissions platform. The Costs of CO₂ Capture, Transport and Storage.

²²⁶ <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/levelised-cost-of-co2-capture-by-sector-and-initial-co2-concentration-2019>.

²²⁷ А. Осипцов (ред.), И. Гайда, Е. Грушевенко, С. Капитонов. Технологии по улавливанию, хранению и использованию углерода (CCUS) – технологическая основа декарбонизации тяжелой промышленности в РФ. Сколтех, 11.10.2022, <https://www.skoltech.ru/app/data/uploads/2022/11/CCUS-Skoltech-2022-11-10.pdf>.

²²⁸ Презентация SKOLKOVO. ТЭК и энергоемкие отрасли: климатическая повестка в новых условиях 03 июня 2022.

№	Метрики	Описание
4	Масштабы производства в России	В России технологии CCUS в основном находятся на стадии планирования и экспериментов. Компания «Лукойл» уже несколько лет испытывает технологии закачки углекислого газа с целью увеличения нефтеотдачи. С 2017 года за счет этого решения было дополнительно получено более 9 тыс. т нефти. Первые эксперименты были проведены на месторождениях «Лукойла» в Самарской области. В 2024 году уже на территории Усинского месторождения (республика Коми) «Лукойлом» должен быть запущен первый крупный проект CCUS: углекислый газ будет улавливаться из отходящего дыма от обогревающего ближайšie населенные пункты энергоцентра «Уса» и закачиваться в пласты Усинского месторождения. ²²⁹ «Роснефть» планирует запуск пилотного проекта CCUS ориентировочно на 2028 год. Группа «Татнефть» не называет сроки, но занимается разработкой возможности улавливать углерод на Нижнекамской ТЭЦ и на Татарском нефтеперерабатывающем комплексе (потенциал улавливания – 6 млн т) с последующей закачкой на Бикляном месторождении с целью повышения нефтеизвлечения. Производятся разработки технологий переработки CO ₂ с получением полезных продуктов. ²³⁰ Проект использует отечественные сорбенты и «эффективные аппараты». ²³¹ «Газпром-нефть» в 2022 году заключила соглашение с правительством Сахалинской области о сотрудничестве в сфере устойчивого развития и планирует внедрять в области технологии CCUS. ²³²
5	Уровень локализации производства	Очень низкий. Постепенно в сфере CCUS появляются отечественные разработки. В Нижегородской области функционирует установка, преобразующая углекислый газ из дымогарных установок в пищевую углекислоту. Предприятие не зависит от зарубежных технологий: компания «Реал-Инвест» еще в 2012 году начала работать с утилизацией дымовых газов, сделав ставку на отечественные технологии. ²³³ Сейчас компания прорабатывает с «Мосэнерго» коммерческий проект улавливания CO ₂ и дальнейшего полезного использования: «Реал-Инвест» поставит свое оборудование на ТЭЦ-11 г. Москвы. ²³⁴ Разработаны российскими учеными и новые фильтрующие мембраны для улавливания углекислого газа из газового потока. Ведутся работы по созданию материалов на основе новых мембран для применения в производственных процессах. ^{235,236} «Газпромнефть» планирует создать пилотный проект в Оренбурге в условиях локализации отечественных технологий улавливания, первая фаза проекта мощностью до 1,5 млн тCO ₂ в год, как ожидается, будет завершена в середине 2024 года, в дальнейшем мощность может быть увеличена до 5 млн т. ²³⁷

²²⁹ <https://www.kommersant.ru/doc/6054367>.

²³⁰ https://www.tatneft.ru/sustainable_development/climate/ccus.

²³¹ https://iadevon.ru/news/society/tatneft_nachnet_probnyuyu_zakachku_uglekislogo_gaza_v_nedra-13305/.

²³² https://oilcapital.ru/news/2022-09-21/gazprom-neft-budet-vnedryat-tehnologii-ulavlivaniya-co2-na-sahaline-1485500?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&utm_referrer=https%3A%2F%2Fdzen.ru%2Fnews%2Fsearch%3Ftext%3D.

²³³ Компания заключила договор с Нижегородским государственным техническим университетом им. Р.Е. Алексеева, и изготовила собственное оборудование на основе разработки университета. <https://www.kommersant.ru/doc/5558561>.

²³⁴

https://iadevon.ru/news/Technologies/v_nizhegorodskoy_oblasti_osvoili_tehnologiyu_dobichi_chistogo_so2_iz_dima-13373/.

²³⁵

https://ria.ru/20230603/filtratsiya-1875896830.html?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&utm_referrer=https%3A%2F%2Fdzen.ru%2Fnews%2Fsearch%3Ftext%3D.

²³⁶ <https://www.atomic-energy.ru/news/2021/12/10/120129>.

²³⁷ https://creon-group.com/wp-content/uploads/2022/06/2022-06-10-ssus-2022_final_edited_ak_rebuild.pdf.

№	Метрики	Описание
6	Наличие необходимой инфраструктуры	Создана инфраструктура для транспортировки и хранения коммерческого производства CO₂ в объемах 1,4 млн т. Инфраструктура для проектов CCUS (захват, транспортировка и хранение) находится только в зачаточной стадии. По оценкам МЭА, в перспективе на геологическое хранение будет приходиться более 95% уловленного углекислого газа, и лишь 5% - на полезное использование. ²³⁸ В связи с этим инфраструктура для проектов CCUS – в основном транспортная (в российских условиях преимущественно трубопроводы) и связанная с хранением (скважины истощенных пластов). При выборе потенциальных регионов для перспективного развития технологий CCUS важно учитывать наличие в относительной близости крупных источников эмиссии и потенциальных мест для хранения. Исходя из такого анализа наиболее интересен Волго-Уральский регион, где инфраструктура нефтяных месторождений высокой степени истощенности соседствует с крупными промышленными объектами.
7	Масштабы и источники возможного импорта	Импорт технологии CCUS в сколь-либо значимых масштабах не осуществлялся в силу отсутствия рынка. Низкий уровень локализации при введении санкций привел к остановке проектов, где было предусмотрено использование CCUS. В условиях санкций планы, сформированные до 2022 года, приходится корректировать. Совместный проект «НОВАТЭК» с японскими инвесторами «Обский ГХК» по производству из природного газа 2,2 млн т аммиака и 130 тыс. т водорода в год с системой CCUS пришлось остановить на стадии предпроектных работ в связи с отказом ЕС поставлять в РФ оборудование для сжижения газа. ²³⁹ Группы, которые еще не заявили о приостановке анонсированных проектов CCUS, не спешат называть целевые значения объемов улавливания. В условиях санкций российским источником импорта может стать Китай. «Роснефть» и один из ведущих вузов Китая Университет Цинхуа в рамках XXVI Петербургского международного экономического форума подписали меморандум о сотрудничестве в сфере научно-технических исследований и разработок, включая технологии улавливания углекислого газа. ²⁴⁰ После отмены санкций источники импорта могут диверсифицироваться.
8	Перспективы экспорта	Данных о планах экспорта технологий CCUS из России в источниках информации не выявлено.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI

²³⁸ <https://www.iea.org/reports/co2-capture-and-utilisation>.

²³⁹ <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/09/07/939811-novatek-otlozhit-proekt>.

²⁴⁰ http://www.energyland.info/analytic-show-244296?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&utm_referrer=https%3A%2F%2Fdzen.ru%2Fnews%2Fsearch%3Ftext%3D.

7**Целевые
индикаторы
для достижения
углеродной
нейтральности**

7.1 Оценка целевых индикаторов

Россия взяла на себя обязательство достичь углеродной нейтральности к 2060 году. Углеродная нейтральность означает баланс источников и стоков не по всем ПГ, а только по CO₂. Для *Стратегии низкоуглеродного развития Российской Федерации* была выбрана траектория *2F – Forest First*, – которая практически опирается лишь на один столп – наращивание стоков в секторе ЗИЗЛХ, что сопряжено со значительными рисками недостижения цели. Такая траектория предполагает значительную дополнительную секвестрацию в секторе ЗИЗЛХ (+665 млн тCO₂экв. чистых стоков дополнительно в 2019-2050 годах), в то время как сокращения выбросов в других секторах предполагаются скромными (всего -289 млн тCO₂экв. в 2019-2050 годах). Однако чистый сток в лесах России сокращается. Это сокращение составило 213 млн тCO₂ в 2010-2021 годах. При сохранении такого тренда к 2045 году нетто-сток станет равным нулю. То есть *Стратегия* должна не только обеспечить прирост нетто-стока от уровня 2019 года, но и полностью компенсировать его ожидаемое падение. В итоге Стратегия нуждается в дополнительном стоке в ЗИЗЛХ в размере, превышающем 1200 млн тCO₂. Надежды на такое масштабное наращивание стоков иллюзорны. Правительство надеется доказать, что стоки в ЗИЗЛХ в России намного больше учитываемых ныне в национальной инвентаризации и что они не имеют тенденции к снижению. Надежд на успех в этих направлениях мало, поэтому Россия может достичь углеродной нейтральности в 2060 году только при условии реализации сильных и эффективных мер политики во всех секторах.

Сюжетные линии и сценарные условия расчетов соответствуют сформулированному в 2022 году сценарию *4D – Development Driven by Decarbonization and Democratization*.²⁴¹

- прогресс в деле прекращения российской военной операции на Украине ослабит санкции после 2030 года и позволит России вновь обрести некоторые из утраченных ею позиций в глобальных цепочках создания стоимости;
- активная политика декарбонизации в России поможет стране получить рыночные ниши в некоторых регионах мира для ряда продуктов с низким или нулевым углеродным следом, а также получить доступ к оборудованию и программному обеспечению, необходимым для производства низкоуглеродной продукции и услуг;
- демократизация будет идти по мере уменьшения роли нефтегазового сектора, и опора на более широкие политические и социальные слои станет ключевым фактором для поддержания социальной стабильности и развития деловой активности. Все это привнесет больше конкуренции в экономику (при снижающейся роли государства), высвободит инициативу, снизит уровень миграционных настроений среди квалифицированных работников и привлечет иностранных специалистов на российский рынок. Это снизит коррупцию и даст стимул для инвестирования и вознаграждения по результатам труда, а не на основе личной преданности;
- снятие или ослабление ограничений для высокотехнологичного импорта, стимулирование конкуренции для инвестирования в новые технологии и снова получение доступа к международному финансированию повысит совокупную факторную производительность и таким образом ускорит развитие ненефтяного сектора с растущими возможностями замещения доходов, выпадающих из-за падения нефтегазовой выручки;

²⁴¹ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichek, A. Lunin, I. Govor. 2022. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENEf-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060.>; Башмаков И. Россия на пути к углеродной нейтральности: три четверки и одна двойка. Нефтегазовая вертикаль. № 11, 2022; Башмаков И. Сценарии движения России к углеродной нейтральности. Энергосбережение. № 1, 2023.

- растущие возможности увеличения производства низкоуглеродной продукции/услуг ускорят вывод из эксплуатации устаревших производственных мощностей и модернизацию оставшихся;
- повышение спроса на продукцию на внутреннем и мировом рынках значительно увеличит ввод новых мощностей, соответствующих стандартам наилучших имеющихся в мире технологий;
- требование обеспечения низкого углеродного следа продукции и услуг даст стимулы к снижению выбросов по охвату 1 путем повышения энергетической и материальной эффективности, внедрения принципов циркуляционной экономики, электрификации, применения технологий улавливания и хранения углерода (CCS) и водорода, а также к снижению выбросов по охвату 2 путем более глубокого внедрения низкоуглеродной энергетики, возобновляемых источников энергии в сетевых и несетевых системах; технологий на основе водорода; CCS; электрических транспортных средств и других низкоуглеродных технологий по мере достижения ими стадии коммерциализации;
- необходимость сделать низкоуглеродные технологии конкурентоспособными на начальных этапах использования, а также потенциально большой – при положительных результатах Сахалинского эксперимента – географический и продуктовый охват механизмами, подобными СВМ, будет способствовать введению механизмов с ценой на углерод на национальном уровне;
- траектория движения к углеродной нейтральности к 2060 году в целом соответствует сценарию 4D, но ее параметры скорректированы с учетом фактических данных за 2022 год и данных по инвентаризации выбросов ПГ за 2021 год, а также за счет использования уточненных характеристик развития экономики до 2060 года (см. выше).

Оценка целевых индикаторов достижения Россией углеродной нейтральности к 2060 году была проведена на основе использования системы моделей, кратко описанной в Главе 2. Расчеты проведены для условий развития экономики, оцененных для следующего сочетания условий экономического развития²⁴²: смягчение санкций; высокое значение параметра совокупной факторной производительности (0,8% в год); средний прогноз наличия рабочей силы; мягкая бюджетная политика, позволяющая иметь заметный дефицит бюджета и накапливать государственный долг; прогресс в импортозамещении и продвижении нетопливного экспорта; средние прогнозы экспорта нефти и газа, а также цен на нефть и газ. В итоге в этом сценарии ВВП России в 2060 г. на 14% превышает уровень 2021 г.

Для каждого сектора с помощью системы моделей были оценены ключевые индикаторы: объемы производства продукции, работ и услуг, доли низкоуглеродной продукции, оборудования и транспортных средств, потребности в инфраструктуре, обеспечивающей использование низкоуглеродных технологий. Эти результаты показаны ниже. Следующий шаг – оценка потребности во вводах нового оборудования для достижения целевых индикаторов. Затем следует оценка возможностей российских производителей поставлять такое оборудование. Рассматриваются до трех звеньев технологической цепочки. Например, производство электромобилей – производство батарей для электромобилей и производство ключевых материалов для производства батарей. Оценки потребностей в оборудовании и возможных объемов производства низкоуглеродных технологий в России позволяют получить оценки потребности в импорте

²⁴² Это довольно оптимистичный сценарий по сравнению с 16 сценариями, рассмотренными в работе И.А. Башмаков. Внешняя торговля, экономический рост и декарбонизация в России. Долгосрочные перспективы. ЦЭНЭФ-XXI. Москва, апрель 2023 г. https://cenef-xxi.ru/uploads/RUS_Vneshnyaya_torgovlya_ekonomicheskij_rost_Perspektivy_463a2412c5.pdf.

оборудования и географических источниках такого импорта. При ограниченности собственного производства и наличии ограничений на импорт получается, что значения целевого индикатора не могут быть достигнуты. Тогда возможна активизация деятельности в более обещающих направлениях. При их отсутствии получается, что задача достижения углеродной нейтральности относится на более поздний срок, что чревато существенными репутационными рисками для России.

По итогам анализа по каждой технологии формируется прообраз дорожной карты ее внедрения, обеспечивающей достижение углеродной нейтральности. Потребность в оборудовании и возможные объемы его производства оцениваются как средние значения по десятилетиям. Отставание на начальных этапах, теоретически, может быть компенсировано за счет ускорения на последующих.

Вопросы, на которые необходимо получить ответы в данном исследовании:

1. За счет каких источников поставок оборудования Россия сможет обеспечить необходимые вводы мощностей?
2. Какова нынешняя ситуация с производством чистых низкоуглеродных технологий в России и каковы планы развития такого производства?
3. Каковы позиции России в технологической гонке в этой сфере?
4. Какого уровня технологической независимости можно ожидать и насколько потребности в оборудовании могут быть покрыты собственным производством или оборудованием с высокими уровнями локализации?
5. Из каких стран может быть импортировано недостающее оборудование?

7.2 Энергетические системы

На данном этапе работы целевые индикаторы (KPI) для сектора *Энергетические системы* ограничены 14 показателями: потребление первичной энергии при генерации электроэнергии, выработка электроэнергии, доля электроэнергии в конечном потреблении энергии, доля нетопливных источников электроэнергии, доля ВИЭ, доля переменных ВИЭ, доля ВЭС, доля СЭС, доля ГеоТЭС, доля ГЭС, доля АЭС, доля БиоТЭС, мощность систем хранения энергии и удельные выбросы CO₂/кВт-ч. Прогнозы на системе моделей позволяют сформировать показатели и для теплоэнергетики, и для отраслей добычи и переработки топлива. Но на данном этапе анализ ограничен только сектором электроэнергетики.

Оценки значений целевых индикаторов сведены в табл. 7.1-7.3. Потребность в электроэнергии и параметры ценовой конкуренции в электроэнергетике (табл. 7.3) позволяют оценить вклад отдельных энергоносителей в обеспечение спроса на электроэнергию и потребность в приросте мощностей с учетом выбытия отслуживших свой срок генерирующих установок.²⁴³

²⁴³ Подходы к моделированию этих параметров подробно описаны в Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichek, A. Lunin, I. Govor. 2022. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENef-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060>.

Таблица 7.1 Целевые объемы выработки электроэнергии и вклада отдельных источников генерации

	2021	2030	2040	2050	2060		
Потребление первичной энергии на нужды генерации электроэнергии, млн туг	301	286	x0,95	323	372	401	x1,3
Выработка электроэнергии, млрд кВт-ч	1159	1130	x0,97	1296	1540	1723	x1,5
Доля электроэнергии в конечном потреблении энергии	14%	15%	x1,1	18%	24%	29%	x2
Доля нетопливных источников	39%	42%	x1,1	52%	67%	76%	x2
Доля ВИЭ	19%	22%	x1	25%	34%	42%	2x
Доля переменных ВИЭ	0,6%	2%	x4	7%	17%	27%	48x
Доля ВЭС	0,3%	1,4%	x4,5	4,6%	10,6%	15,4%	48x
Доля СЭС	0,2%	0,7%	x3	2,6%	6,7%	11,2%	49x
Доля ГеоТЭС	0,04%	0,08%	x2	0,08%	0,08%	0,07%	2x
Доля ГЭС	19%	19%	x1	17%	16%	15%	0,8x
Доля БиоТЭС	0,2%	0,2%	x1	0,3%	0,3%	0,4%	1,7x
Доля АЭС	19%	20%	x1,1	27%	33%	34%	1,8x
Системы хранения энергии тыс. кВт-ч	22	169	x7	566	1 116	1 700	x77
Углеродоемкость электроэнергии, гСО ₂ /кВт-ч	324	282	x0,9	207	121	61	x0,2

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Таблица 7.2 Среднегодовые вводы генерирующих мощностей (МВт)

	2015-2022	2023-2030		2031-2040	2041-2050	2051-2060	
Всего	3517	3971	x1,1	8024	11300	10536	x3
ВИЭ	643	1473	x2,2	4201	7124	7983	x12
Доля ВИЭ	18,3%	37,1%	x2	52,4%	63,0%	75,8%	x4
ВЭС	287	748	x2,6	1 952	2 913	3 626	x13
СЭС	229	510	x2	1 448	3 172	3 691	x16
ГеоТЭС	9	3	x0,3	3	3	0	x0
БиоТЭС	14	9	x0,6	43	57	51	x4
ГЭС	104	204	x2	755	979	614	x6
АЭС	930	989	x1	2 004	2 804	1 770	x2
ТЭС уголь без CCUS	497	353	x0,7	280	86	32	x0,06
ТЭС уголь с CCUS	0	0		13	24	14	
ТЭС газ без CCUS	1 344	953	x0,7	733	214	86	x0,06
ТЭС газ с CCUS	0	0		38	69	37	
Системы хранения энергии	3	8	x2,5	20	28	29	x10

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Таблица 7.3 Приведенная стоимость электроэнергии (LCOE) по источникам генерации (долл./кВт-ч в ценах 2021 г.)

	2021	2030	2040	2050	2060
Всего	0,048	0,052	0,060	0,063	0,061
ВЭС	0,036	0,044	0,041	0,031	0,028
СЭС	0,058	0,053	0,043	0,032	0,027
ГеоТЭС	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084
БиоТЭС	0,045	0,044	0,050	0,061	0,067
ГЭС	0,060	0,064	0,064	0,064	0,064
АЭС	0,043	0,045	0,046	0,046	0,046
ТЭС уголь	0,053	0,066	0,092	0,125	0,153
ТЭС уголь с CCUS	0,137	0,134	0,138	0,149	0,155
ТЭС газ	0,042	0,045	0,059	0,078	0,092
ТЭС газ с CCUS	0,083	0,076	0,080	0,090	0,095

В каждом году закрашены три источника электроэнергии с самыми низкими LCOE. В расчетах использована цена на углерод, которая вводится в 2025 году в размере 3 долл./тCO₂ и затем равномерно растет до 108 долл./тCO₂ к 2060 году.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Среднегодовые вводы ВЭС должны повыситься до 748 МВт в 2023-2030 годах и до 3,6 ГВт в 2050-2060 годах; СЭС – до 510 МВт в 2023-2030 годах и до 3,7 ГВт в 2050-2060 годах; ГЭС – до 204 МВт в 2023-2030 годах и до почти 1 ГВт в 2040-2050 годах; АЭС – до 1 ГВт в 2023-2030 годах и до 2,8 ГВт в 2040-2050 годах. Ключевой для дальнейшего анализа является табл. 7.2, отражающая потребность во вводах новых мощностей. Из нее видно, что среднегодовые вводы мощностей низкоуглеродной генерации должны:

- по ВИЭ возрасти в 2 раза к 2030 году и в 12 раз к 2060 году и составить соответственно 37% и 76% от ввода всех мощностей;
- по ГЭС – возрасти в 6 раз;
- по АЭС – в 2 раза;
- после 2030 года должны появиться ТЭС, оснащенные системами CCUS;

Ввод мощностей систем хранения энергии должен вырасти на порядок, чтобы обеспечить эффективное управление нагрузками в энергосистеме, где доля переменных ВИЭ повышается до 2% к 2030 году и до 27% к 2060 году, оставаясь довольно умеренной даже по сегодняшним меркам.

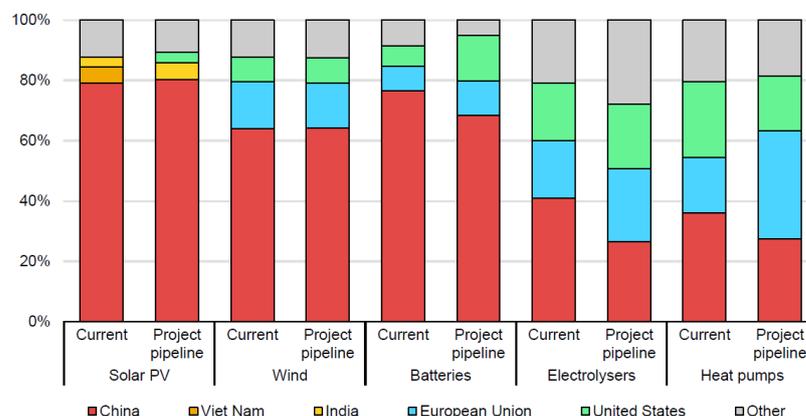
В 2022 году мощности по производству солнечных панелей в мире выросли на 39%, а аккумуляторов – на 72%.²⁴⁴ Существует высокая географическая концентрация производства чистых генерирующих технологий: на четыре страны и на ЕС приходится около 80-90% мировых производственных мощностей для пяти основных чистых технологий, в т.ч. на Китай 40-80% (рис. 7.1). Если все уже объявленные проекты будут реализованы, то эти доли сместятся до 70-95% и 30-80% соответственно.²⁴⁵ Ожидается, что к 2030 году Китай захватит рынок таких технологий объемом 500 млрд долл. в год. Если все заявленные проекты будут реализованы, то ЕС сможет покрыть свои

²⁴⁴ IEA. 2023. The State of Clean Technology Manufacturing. An Energy Technology Perspectives. Special Briefing.

²⁴⁵ Там же.

потребности в батареях, электролизерах, тепловых насосах и АЭС в 2030 году. США также могут стать практически самодостаточными по ряду видов оборудования к 2030 году. Важно понять, какую роль на этом рынке сможет играть Россия.

Рисунок 7.1 Текущий и прогнозируемый уровни географической концентрации производства оборудования для ключевых чистых технологий



Источник: IEA. 2023. The State of Clean Technology Manufacturing. An Energy Technology Perspectives Special Briefing.

7.3 Промышленность

Целевые индикаторы (KPI) для сектора *Промышленность* (вся добывающая и обрабатывающая промышленность) в данной работе ограничены 17 показателями: потребление конечной энергии; доля электроэнергии в потреблении конечной энергии; выбросы CO₂; производство стали; доля выплавки стали в электродуговых печах; производство железа прямого восстановления (DRI); производство железа прямого восстановления с использованием водорода; производство железа прямого восстановления на базе природного газа с CCUS; производство алюминия первичного; доля технологии предварительно обожженных анодов; доля технологии «инертных» анодов; производство цемента; доля сухого способа; клинкер-фактор; производство аммиака; производство аммиака с использованием водорода; производство аммиака с использованием CCUS.

Оценки значений целевых индикаторов получены на системе моделей и сведены в табл. 7.4–7.6. Параметры ценовой конкуренции технологий при производстве отдельных видов промышленной продукции (табл. 7.6) играют важную роль при оценке масштабов их использования в грядущие десятилетия. Для решения поставленных в данной работе задач масштабы применения низкоуглеродных технологий (табл. 7.4) трансформированы в среднегодовые приросты производственных мощностей по выпуску соответствующего оборудования, своевременный ввод которых может обеспечить такие масштабы (табл. 7.5).

В отличие от технологий генерации электроэнергии, проблеме наличия и развития производства оборудования для низкоуглеродных промышленных технологий посвящено заметно меньше публикаций, как в связи со сложностью самих технологических процессов, так и из-за большого числа установок разного назначения, которые и формируют технологический процесс. Это касается производства таких установок как в России, так и за рубежом. Поэтому для промышленности ответ на вопрос: за счет каких источников поставок оборудования Россия сможет обеспечить указанные выше вводы мощностей? – может быть заметно более сложным, чем для электроэнергетики.

Таблица 7.4 Целевые индикаторы для промышленности

	2021	2030		2040	2050	2060	
Потребление конечной энергии, млн туг	276	245	x0,9	207	182	162	x0,6
Доля электроэнергии в потреблении конечной энергии			x1,1				x2,2
Выбросы CO ₂ , млн т	340	244	x0,7	131	82	54	x0,2
Производство стали, млн т	71	78	x1,1	80	74	70	x1
Доля выплавки стали в электродуговых печах			x1,5				x3
Производство железа прямого восстановления (DRI), млн т	8	18	x1	37	45	47	2x
в т.ч. с использованием водорода				5	12	13	∞
природный газ с CCUS				5	11	12	∞
Производство алюминия первичного, млн т	3,7	3,7	x1	3,7	4,3	5,0	x1,4
Доля технологии предварительно обожженных анодов							∞
Доля технологии «инертных» анодов			x60				x490
Производство цемента	61	75	x1,2	81	83	83	x1,4
Доля сухого способа			x1,2				x1,7
Клинкер-фактор			x0,9				x0,7
Производство аммиака	17	14	x0,8	18	22	26	x1,5
в т.ч. с использованием водорода				0	2%	4%	∞
природный газ с CCUS				0	22%	43%	∞

Источник: ЦЭНЭФ-ХХІ.

Выплавка стали в электродуговых печах, производство железа прямого восстановления, цемента сухим способом и аммиака – это зрелые технологии. В их отношении главная проблема – уровень локализации производства в России и возможность обеспечить необходимые вводы мощностей как за счет собственного машиностроения, так и за счет импорта необходимого оборудования.

Таблица 7.5 Среднегодовые вводы промышленных мощностей (млн т/год)

	2015-2022	2023-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060		
Дуговые сталеплавильные печи	1,4	1,4		2,4	3,6	0,4	
			x0,4				x1,5*
Производство железа прямого восстановления (DRI)	0,3	1,4		2,4	1,2	0,4	
			x4,6				x8*
ПВЖ – природный газ – CCS				0,3	0,7	0,8	
							
ПВЖ – водород – ЭДП				0,5	0,3	0,1	
							
Алюминий по технологии предварительно обожженных анодов		0,2		0,1	0,1	0,1	
							∞
Алюминий по технологии «инертных» анодов (тыс. т/год)	4	43		54	74	102	
			x11				x50
Сухой способ производства цемента	1,9	1,7		2	1,7	1,6	
			x0,9				x1
Производство цемента с CCS				0,7	0,9	0,7	
							∞
Производство аммиака	0,2	0,3		0,7		0,8	
			x1				x4,5
с использованием водорода				0,04	0,06		
							∞
с использованием CCS				0,5	0,7		
							∞

* максимальное значение за одно из десятилетий.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Опыт производства первичного алюминия с применением технологии предварительно обожженных анодов и технологии «инертных» анодов в России уже есть. Вопрос стоит об эффективном масштабировании этих технологий.

По технологиям, в которых используется водород и CCS, вводы потребуются в основном после 2030 года. Значит, источники поставок технологий и схемы стимулирования их тиражирования должны быть определены до этого времени. Самые большие кратности по масштабированию низкоуглеродных промышленных технологий определены для наращивания мощностей по производству железа прямого

восстановления, в т.ч. с использованием водорода и системы CCUS и для новых технологий производства алюминия. Почти трехкратный рост потребует также при вводе мощностей электродуговых печей выплавки стали. Для прочих технологий масштабы их применения сильно не растут, поэтому задача в основном сводится к выявлению способности российского машиностроения заменить поставки импортного оборудования или найти источники импорта, способные покрыть потребности во вводах новых мощностей.

При введении цены на углерод стоимость стали, производимой по технологической цепочке доменная печь – конвертер, превысит стоимость стали по технологии ПВЖ – природный газ – электродуговая печь. Затраты по технологии ПВЖ – природный газ – электродуговая печь с водородом приблизится к стоимости ПВЖ – природный газ – электродуговая печь только в 2060 году. Поэтому применение этих технологий будет ограничено и в основном ориентировано на внешние рынки, где выше цена стали.

Таблица 7.6 Приведенная стоимость производства отдельных базовых материалов для разных технологий (долл./т в ценах 2021 года)

	2021	2030	2040	2050	2060
Сталь, средняя	367	464	498	516	569
Доменная печь – конвертер	360	531	744	966	1203
ПВЖ – природный газ – ЭДП	372	392	466	552	624
ПВЖ – природный газ – ЭДП – CCS	419	448	538	642	730
ПВЖ – водород – ЭДП	454	472	557	650	672
Лом – ЭДП	384	388	398	408	417
Цемент, средняя	59	72	92	101	98
Замещение клинкера	63	73	91	108	125
Сухой способ	59	71	92	112	132
Альтернативные топлива	60	69	84	99	113
CCS	100	93	83	73	63
Аммиак, средняя	186	223	359	442	439
Паровая конверсия метана	186	223	359	508	628
Водород	1016	898	768	637	507
CCS	212	208	204	200	196

В каждом году закрашены две технологии с самыми низкими затратами. В расчетах использована цена на углерод, которая вводится в 2025 году в размере 3 долл./тCO₂ и затем равномерно растет до 108 долл./тCO₂ к 2060 году.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Введение цены на углерод делает технологические варианты с повышенной энергоэффективностью, заменой клинкера, альтернативными видами топлива с низким содержанием углерода и CCS экономически эффективными. Поэтому новые производственные мощности будут основаны на этих технологиях. Внедрение CCS на цементных заводах при 50%-ном субсидировании контрактов на разницу стоимости цемента повысит конкурентоспособность этой технологии и позволит строить новые и модернизировать существующие заводы с системами CCS. В 2060 году производство

цемента с CCS достигнет 52% и будет улавливаться около половины в основном технологических выбросов CO₂. Внедрение новых технологий сделает цемент более дорогим. Средняя стоимость цемента на вновь строящихся заводах вырастет с 60 долл. США/т в начале 2022 года до 101 долл. США/т в 2050 году с последующим снижением до 98 долл. США/т в 2060 году. Постепенный рост цены позволит потребителям цемента приспособиться и использовать большой потенциал для повышения эффективности использования цемента в строительстве. Более высокие цены на цемент лишь умеренно повлияют на стоимость зданий и инфраструктуры (менее 1%).

Существующие схемы CCU при производстве карбамида будут дополнены производством аммиака на основе паровой конверсии метана с CCS и установками, использующими зеленый водород. По мере роста цен на углерод технология паровой конверсии метана будет дорожать. Производство аммиака на основе водорода достигнет 6% в 2060 году при поддержке субсидий, покрывающих разрыв в затратах на технологию по сравнению с паровой конверсией метана. В 2060 году 58% производства аммиака будет оснащено CCS. Новые низкоуглеродные технологии сделают аммиак более дорогим к 2050 году, но затем средние затраты стабилизируются и немного снизятся ближе к 2060 году. Введение цены на углерод, субсидий для контрактов на поставку по схеме «контракт на разницу» (CfD) зеленого аммиака и технологический прогресс приведут к сокращению чистых выбросов от производства аммиака в 3 раза.

Низкоуглеродная трансформация российской промышленности повысит ее конкурентоспособность и упрочит ее позиции на мировых рынках.

7.4 Транспорт

В данной работе целевые индикаторы (KPI) для сектора *Транспорт* ограничены автомобильным транспортом, который доминирует в выбросах CO₂, и включают 13 показателей: потребление конечной энергии; доля электроэнергии в потреблении конечной энергии; выбросы CO₂; грузооборот; пассажирооборот; доля автотранспорта в грузообороте; доля автотранспорта в пассажирообороте; парк легковых автомобилей; доля электромобилей; парк автобусов; доля электробусов; емкость электробатарей для автомобильного транспорта и число зарядных станций. Оценки значений целевых индикаторов получены на системе моделей и сведены в табл. 7.7-7.9. Приведенная стоимость владения легковым автомобилем (табл. 7.3) играет важную роль при оценке масштабов их использования в грядущие десятилетия. Для решения поставленных в данной работе задач масштабы применения низкоуглеродных технологий (табл. 7.7) трансформированы в среднегодовые приросты производственных мощностей по выпуску соответствующего оборудования, своевременный ввод которых может обеспечить такие масштабы (табл. 7.8).

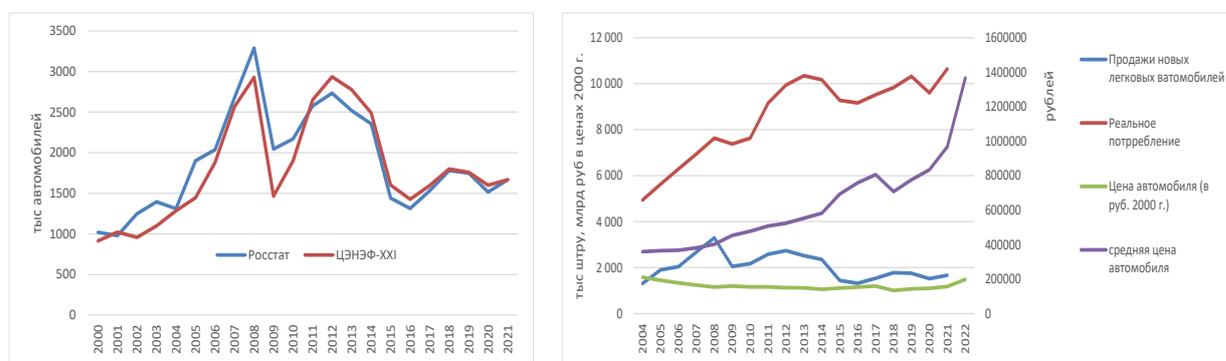
Умеренные доходы, старение населения, развитие удаленной занятости и другие факторы будут способствовать снижению пассажирооборота. Однако оно будет менее существенным, чем снижение грузооборота. Экономические допущения сценария 4D подразумевают, что будут добываться и транспортироваться меньшие объемы нефти, газа и угля, и экономика будет постепенно дематериализоваться. Вместе с эффективным управлением цепочками поставок все это будет работать на снижение грузооборота.²⁴⁶ В грузообороте будет по-прежнему преобладать железнодорожный и газопроводный транспорт, а доля автомобильного сохранится на уровне 5%. В пассажирообороте доля

²⁴⁶ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichek, A. Lunin, I. Govor. 2022. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENEF-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060>

легковых автомобилей сократится с 51% в 2021 году до 32% в 2060 году. Это будет сопровождаться развитием такси, служебных автомобилей и каршеринга.

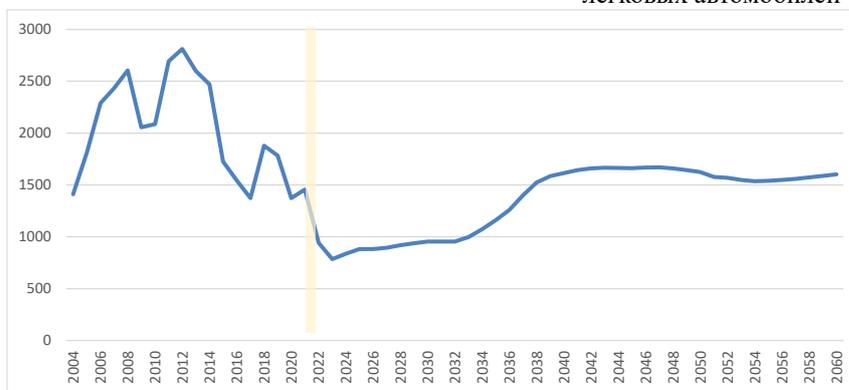
Парк исправных легковых автомобилей будет сокращаться. Этот нетривиальный вывод требует обоснования. На рис. 7.2 показаны оценки годовых продаж легковых автомобилей в России, полученные балансовым методом Росстатом и ЦЭНЭФ-XXI. Они довольно схожи и показывают, что пик приобретения легковых автомобилей уже пройден, и после 2013 года приобреталось 1,3-1,8 млн шт. в год. Стабилизация реального потребления населения после 2013 года и резкий рост средней цены автомобиля после 2018 года, а также уже достигнутый уровень насыщения автомобилями стали важными факторами замораживания продаж на этом уровне. Функции спроса на новые автомобили были сформированы на базе оценок годовых продаж легковых автомобилей в России, сделанных как ЦЭНЭФ-XXI (7.1), так и Росстатом (7.2).

Рисунок 7.2 Ретроспективные и перспективные оценки ежегодного объема продаж легковых автомобилей



а) объемы продаж легковых автомобилей

б) динамика факторов, определяющих объемы продаж легковых автомобилей



в) продажи новых легковых автомобилей (прогнозные оценки получены с использованием функции спроса, оцененной по данным Росстата). Прогнозные оценки даны только со стороны спроса без учета физических ограничений поставок в 2022 году и позже

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Функция продаж с использованием данных ЦЭНЭФ-XXI:

$$AVT_{sell} = 9,989 + 2,912 * \ln PCR - 0,9688 * \ln AVT_{price} - 3,0829 * \ln AVT_{saturation} \quad (7.1)$$

(1,061) (6,074) (-1,677) (-9,952)

$$R^2=0,921; F=26$$

Функция продаж с использованием данных Росстата:

$$AVT_{sell} = 22,853 + 2,333 * \ln PCR - 1,5923 * \ln AVT_{price} - 3,1098 * \ln AVT_{saturation} \quad (7.2)$$

(2,438) (4,886) (-2,768) (-8,055)

$$R^2=0,92; F=25,6$$

Автомобиль в России постепенно превращается из средства передвижения в предмет роскоши. Цены на автомобили в последние годы заметно опережали динамику курса рубля. Эта тенденция сохранится. Цена Лады-Весты является реперной величиной при ценообразовании на автомобильном рынке России. Объявленная в 2023 году цена Лады-Весты в зависимости от комплектации составляет 1,24-1,56 млн руб., что ниже средней цены нового автомобиля (по 25 наиболее продаваемым моделям) в начале 2023 года – 1,76 млн руб. По данным Росстата, средняя цена на импортный автомобиль в апреле 2023 года составила 2,1 млн руб., а российского – 0,93 млн руб.

После 2030 года сокращение парка автомобилей сохранится, но замедлится и будет уже больше определяться политикой развития услуг такси, каршеринга, общественного транспорта, малой мобильности, мерами политики декарбонизации и другими факторами, включая старение населения. Все они оказывают влияние уже сейчас, но со временем их влияние возрастет.

Электрификация транспорта является ключевой мерой политики снижения выбросов парниковых газов. Доля электроэнергии в транспортном энергетическом балансе вырастет с нынешних 8% до почти 38% в 2060 году, для легковых автомобилей – до 53%, а для автобусов – до 74%.

Электромобили составят 70% в новых продажах в 2060 году (12% PHEV и 58% BEV). Парк автобусов будет сохраняться относительно стабильным при повышении уровня комфорта поездок.

Условием успешной электрификации автомобильного транспорта является наличие аккумуляторов (тяговых батарей) и зарядных станций. В отношении последних более важным индикатором является наличие точек зарядки и их мощность. Для оценки потребности в аккумуляторах использовались данные последнего обзора МЭА. В нем говорится, что в 2022 году средневзвешенная по объемам продаж емкость батарей для малых электромобилей варьировала от 25 до 35 кВт-ч, а для электрических внедорожников – от 70 до 75 кВт-ч.²⁴⁷ Statista оценивает среднюю емкость батареи для электромобиля в 40 кВт-ч, а для заряжаемого гибрида – 11 кВт-ч.²⁴⁸ В российских электробусах емкость батареи находится в диапазоне 80-129 кВт-ч. По данным МЭА, для городских автобусов она равна 137-150 кВт-ч. В расчетах использовалось значение 130 кВт-ч, а для гибридных автобусов – в 4 раза меньше. В итоге к 2050 году емкость батарей для автотранспорта должна составить 637 ГВт-ч, а к 2060 году – 765 ГВт-ч при парке электромобилей 14,4 млн, заряжаемых гибридов – 3,2 млн, электробусов – 0,6 млн и заряжаемых гибридных автобусов – 0,1 млн. При развитии бизнес-модели с заменой аккумуляторов, например, для таких сегментов рынка, как такси, где время зарядки является критическим фактором, может потребоваться большая емкость. В мире емкость батарей для автотранспорта составила в 2022 году 550 ГВт-ч.²⁴⁹ Более 75% производства батарей в мире сосредоточено в Китае (рис. 7.1). С учетом усилий разных стран по диверсификации поставок эта доля сократится в ближайшие годы, но останется не ниже 65-70%. Доля России на этом рынке практически нулевая.

²⁴⁷ IEA. 2023. Global EV Outlook 2023. Catching with climate ambitions.

²⁴⁸ [Worldwide battery capacity in electric vehicles 2025 | Statista.](#)

²⁴⁹ IEA. 2023. Global EV Outlook 2023. Catching with climate ambitions.

Таблица 7.7 Целевые индикаторы для транспорта

	2021	2030		2040	2050	2060	
Потребление конечной энергии, млн тунт	135	101	x0,7	79	58	42	x0,3
Доля электроэнергии в потреблении конечной энергии	8%	9%	x1,1	15%	23%	38%	x4,8
Выбросы CO ₂ , млн т	236	172	x0,7	125	81	46	x0,2
Грузооборот, млрд т-км	5701	5107	x0,9	4882	4083	3492	x0,6
Пассажирооборот, млрд пасс-км	1327	1198	x0,9	1238	1241	1194	x0,9
Доля автотранспорта в грузообороте	5%	5%	x1,5	4%	5%	5%	x3
Доля автотранспорта в пассажирообороте	51%	46%	x0,8	41%	37%	32%	x0,6
Парк легковых автомобилей, млн шт.	50	41	x0,9	37	32	27	x0,5
Доля электромобилей	0,03%	6%	x200	22%	37%	53%	x1767
Парк автобусов, тыс. шт.	844	760	x0,9	797	811	792	x0,9
Доля электробусов	0,003%	4%	x1300	26%	56%	74%	x26667
Емкость электро-батарей для автомобильного транспорта, ГВт-ч	2	128	x64	410	637	765	x383
Число зарядных станций (10 зарядных точек - портов на 1 станцию)	208	25473	x0,9	54845	61363	76049	x0,9

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Таблица 7.8 Среднегодовые вводы мощностей на транспорте

	2015-2022	2023-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060	
Прирост парка электромобилей, тыс. шт.	2	247	548	412	236	x 247*
						
Прирост парка электробусов, тыс. шт.	0,02	3	17	22	10	x94*
						
Прирост потребности в батареях, ГВт-ч	0,3	18,0	28,2	22,7	12,7	x94*
						
Прирост числа зарядных станций (10 зарядных точек - портов на 1 станцию)	1070	2526	2937	651	1468	x3*
						

* максимальное значение за одно из десятилетий.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

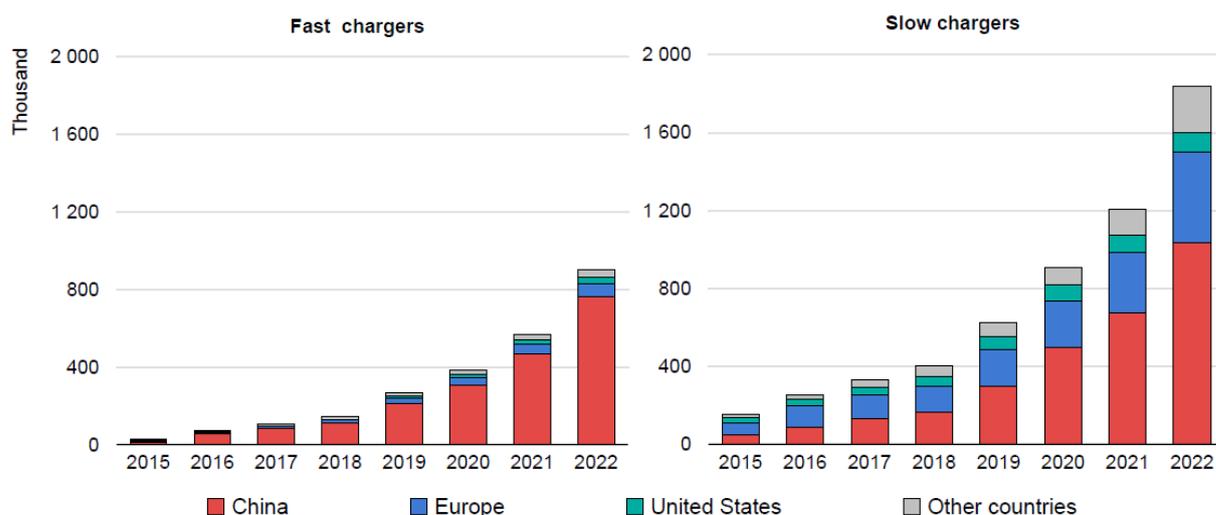
В мире в 2022 году насчитывалось 2,7 млн точек общественной зарядки с доминированием точек медленной зарядки (рис. 7.3). По данным Росстата, в 2022 году в России было 208 зарядных станций общего пользования. По данным 2chargers.net, в России в 2022 году было 4367 точек зарядки (0,16% от мирового показателя), из которых 3679 – точки медленной зарядки и 688 – быстрой.²⁵⁰ Для сравнения на долю Китая приходится около 1,75 млн точек общественной зарядки, или около двух третей всех установленных в мире зарядных точек.

Для оценки числа точек зарядки и зарядных станций также использовались данные последнего обзора МЭА.²⁵¹ Этот обзор показывает, что в среднем в мире в 2022 году на одну точку общественной зарядки пришлось 10 электромобилей (25 в Норвегии), что эта пропорция растет по мере роста парка электромобилей и что значение зависит от доли частного жилого фонда и от возможности заряжать электромобиль дома. Мощность зарядных станций также зависит от соотношения быстрой и медленной зарядки. Первые более мощные, время зарядки на них меньше, поэтому они могут обслужить больше электромобилей в сутки. Расчеты для табл. 7.7 проведены из допущения, что 10 электромобилей приходится на одну зарядную точку и 10 зарядных точек приходится на одну станцию. Они дают большие значения, чем оценки правительственной Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года, которая устанавливает ориентир 144 тыс. зарядных точек (портов, или зарядных станций в терминологии Концепции) на 2030 год. Концепция также исходит из допущения о том, что 10 электромобилей приходится на одну зарядную точку, но при меньшем парке электромобилей: 1,4 млн против 2,5 млн в данной работе.

²⁵⁰ <https://www.autostat.ru/news/53199/>.

²⁵¹ IEA. 2023. Global EV Outlook 2023. Catching with climate ambitions.

Рисунок 7.3 Установленные общедоступные точки зарядки легковых автомобилей в мире, 2015-2022 годы



Источник: IEA. 2023. Global EV Outlook 2023. Catching with climate ambitions.

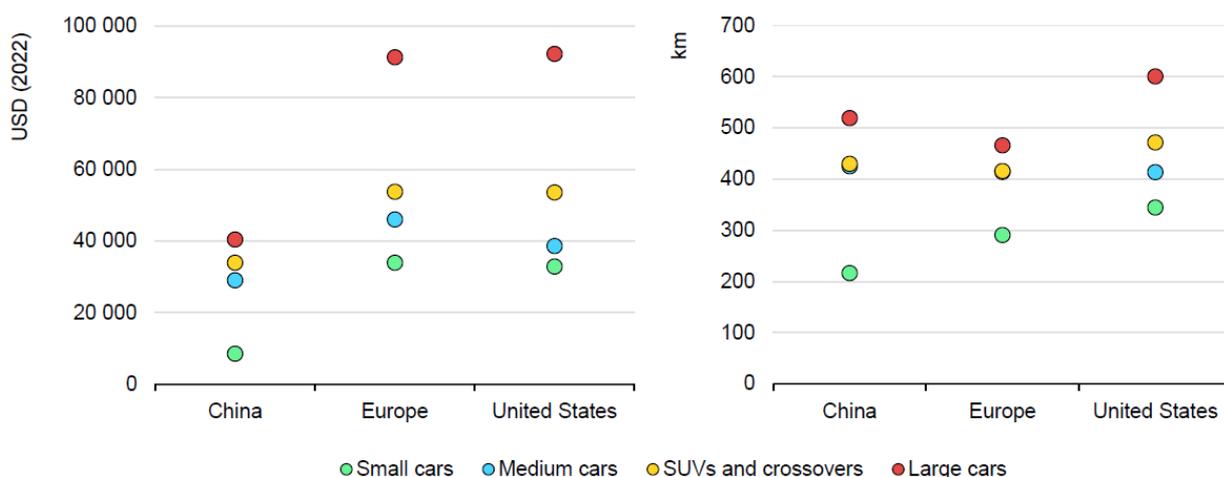
Траектория, сформированная в Концепции, не позволит выйти на углеродную нейтральность к 2060 году, которая характеризуется снижением потребления конечной энергии на транспорте в 3 раза и снижением выбросов CO₂ в 5 раз (табл. 7.7). Для выхода на эту траекторию необходимо обеспечить годовые приросты парка электромобилей, электробусов, батарей и зарядных станций в соответствии со значениями табл. 7.8. Пик усилий приходится на 30-е годы, а значит, до 2030 года необходимо создать условия для выхода на этот пик, включая наращивание собственного производства электромобилей, электробусов, батарей, оборудования для зарядных станций. Это важно еще и потому, что в 30-х годах стоимость владения электромобилем в России станет ниже стоимости владения автомобилем на ДВС или на дизеле (табл. 7.9).

Электромобили – это большой и очень быстро растущий рынок. В 2022 году в мире расходы на приобретение электромобилей выросли на 50% и превысили 425 млрд долл. США. Из них только 10% пришлось на меры государственной поддержки. Рынок электромобилей становится все более конкурентным, и потребители могут выбирать из растущего числа моделей электромобилей (более 500). В 2022 году было продано более 10 млн легковых электромобилей, а в 2023 году ожидается, что продажи достигнут 14 млн.

В начале 2023 года средневзвешенная цена электромобиля на российском рынке составила 3,76 млн руб. – примерно 50 тыс. долл., что определялось высокой долей продаж моделей бизнес-класса и кроссоверов. Эта цена соответствует ценам на автомобили таких классов в ЕС и США и заметно выше, чем они стоят в Китае. Средняя стоимость седана Evolute i-Pro составила 2,3 млн руб. (1,6-3 млн руб. в зависимости от комплектации), что равно средней стоимости иномарки в России в начале 2023 года и на 0,5 млн руб. выше средневзвешенной цены 25 наиболее продаваемых в России легковых автомобилей – 1,76 млн. руб. Цена седана Evolute i-Pro эквивалента 31 тыс. долл., что соответствует цене автомобиля среднего класса в Китае и ниже, чем для таких электромобилей в ЕС и США. Малогабаритных электромобилей в России в продаже

практически нет, а в Китае они стоят 10 тыс. долл. (0,75 млн руб.), в ЕС и США – более 30 тыс. долл. В Китае самыми продаваемыми электромобилями в 2022 году были: Wuling Mini BEV (небольшая модель по цене менее 6500 долл. США) и BYD Dolphin (также небольшая модель, по цене ниже 16 000 долл. США). На них пришлось 15% продаж в Китае. Рост числа доступных моделей и сдвиг в сторону средних и малых электромобилей в России позволит снизить их средневзвешенную цену на российском рынке. Оптовые закупки для таких сегментов рынка, как такси и каршеринг, также позволят снизить цены.

Рисунок 7.4 Средневзвешенная (по продажам) розничная цена (слева) и дальность пробега (справа) электромобиля BEV в отдельных странах в 2022 году



Источник: IEA. 2023. Global EV Outlook 2023. Catching with climate ambitions.

Таблица 7.9 Приведенная стоимость владения легковым автомобилем (руб. за срок жизни в ценах 2021 года)

	2021	2030	2040	2050	2060
бензин	3293608	4011640	4126648	4220442	4174169
дизель	3058286	3801130	3883280	3952310	3912055
сжатый газ	2530171	3342784	3369388	3369388	3387331
гибриды	4764323	4046962	3730734	3470192	3182795
электромобили	4932957	4092267	3403030	2890188	2510127

В каждом году закрашены две технологии с самыми низкими затратами. В расчетах использована цена на углерод, которая вводится в 2025 году в размере 3 долл./тCO₂ и затем равномерно растет до 108 долл./тCO₂ к 2060 году.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Электромобили в России выходят на паритет с бензиновыми автомобилями к 2030 году, с автомобилями на сжатом газе к 2040 году, а с 2040 года они становятся самым экономичным вариантом (табл. 7.9). В расчетах для электромобилей использовалась средняя цена средней комплектации производимых в Липецке по китайской лицензии моделей Evolute i-Pro (седан) и Evolute i-Joy (кроссовер) – соответственно 2,31 и 3,04 млн руб. Таким образом, задержки в принятии решений об электрификации автотранспорта приведут к дополнительной нагрузке на семейные бюджеты. Если бы решения о приобретении автомобиля принимались на основе оценки стоимости владения им, то доля электромобилей в новых продажах выросла бы до 48% в 2040 году, до 55% в 2050 году и 61% в 2060 году, а заряжаемых гибридов – до 13% в 2040-2060 годах.

7.5 Здания

В данной работе целевые индикаторы (КPI) для сектора Здания ограничены жилыми зданиями и включают 13 показателей: потребление конечной энергии; доля электроэнергии в потреблении конечной энергии; прямые и косвенные выбросы CO₂; средний расход энергии на нужды отопления; средний расход энергии на нужды ГВС; средний расход энергии на прочие нужды; доля МКД высоких классов энергоэффективности; доля МКД с энергоэффективным капитальным ремонтом; требования к снижению удельного расхода энергии по итогам капитального ремонта; доля МКД, оснащенных АУУ и АИТП; производство тепловой энергии на тепловых насосах; производство тепла на солнечных водоподогревателях и производство электроэнергии в зданиях. Оценки значений целевых индикаторов получены на системе моделей и сведены в табл. 7.10-7.12.

Суммарная площадь жилых зданий растет с 4 млрд м² в 2021 году до более 7 млрд м² в 2060 году, или на 76%. Объемы вводов жилой площади сокращаются с рекордного уровня 2022 года, а затем медленно растут, достигая пика 95 млн м² в районе 2050 года. Площадь МКД растет с 2,5 млрд м² в 2021 года до более 4 млрд м² в 2060 года, или на 60%. Доля площади индивидуальных зданий вырастет с 38% в 2022 году до 44% в 2060 году. Обеспеченность жилой площадью быстро растет и достигает 54 м²/чел. к 2060 году (28 м²/чел. в 2022 году.).

Две трети МКД, в которых россияне будут жить в 2060 году, уже построены. Поэтому для повышения энергетической эффективности предельно важно осуществить их энергоэффективную реновацию. Более трети МКД к 2060 году еще только должны быть построены. Поэтому параметры энергоэффективности строительства новых МКД существенно скажутся на перспективной динамике удельных расходов энергии в жилищном секторе.

Экономить (добывать) природный газ в российских зданиях в 3-5 раз дешевле, чем добывать его на Ямале.²⁵² ЦЭНЭФ-XXI показал, что экономия единицы тепловой энергии в России по итогам энергоэффективного капитального ремонта обходится как минимум на порядок дешевле, чем в ЕС.²⁵³ В среднем на каждые 100 руб./м² затрат на энергоэффективный капитальный ремонт МКД получается экономия тепловой энергии в размере 3,8 кВт-ч/м². Стоимость цикла жизни здания (табл. 7.12) играет видную роль при принятии решений о реализации пакетов мер по повышению энергоэффективности и использованию ВИЭ в зданиях.

²⁵² Башмаков И.А. Повышение энергоэффективности в российских зданиях: прогноз до 2050 года. *Вопросы экономики*. 2016;(3):75-98. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2016-3-75-98>; Bashmakov I. 2016. Improving the Energy Efficiency of Russian Buildings. Forecast to 2050. Problems of economic transition. Volume 58, 2016 - Issue 11-12.

²⁵³ Там же.

Таблица 7.10 Целевые индикаторы для жилых зданий

	2021	2030		2040	2050	2060	
Потребление конечной энергии, млн тунт	153	141	x0,9	132	126	122	x0,8
Доля электроэнергии в потреблении конечной энергии	14%	18%	x1	19%	20%	24%	x1,1
Прямые и косвенные выбросы CO ₂ , млн т	315	240	x0,8	207	179	139	x0,4
Средний расход энергии на нужды отопления, кВт-ч/м ² /год	204	150	x0,7	129	114	94	x0,5
Средний расход энергии на нужды ГВС, кВт-ч/м ² /год	34	18	x0,5	13	11	11	x0,3
Средний расход энергии на прочие нужды, кВт-ч/м ² /год	66	53	x0,8	42	34	30	x0,5
Доля МКД с классами энергоэффективности А++	0,1%	0,4%	x4	23%	45%	70%	x700
Доля МКД с энергоэффективным капитальным ремонтом	0,1%	2,0%	x20	2,0%	2,0%	2,0%	x20
Доля МКД, оснащенных АУУ и АИТП	14%	43%	x3	65%	84%	99%	x7
Производство тепла на тепловых насосах, млн Гкал	0,2	2,6	x13	9,6	27,0	76,6	x383
Производство тепла на солнечных подогревателях, млн Гкал	0,1	2,0	x20	4,5	8,9	18,6	x186
Производство электроэнергии в зданиях, млрд кВт-ч	0,002	0,15	x75	7,6	20,6	39,5	x19750
Доля умного учета электроэнергии	0,1%	99%	x1000	99%	99%	99%	x1000

Источник: ЦЭНЭФ-ХХI.

Таблица 7.11 Среднегодовые вводы мощностей для жилых зданий

	2015-2022	2023-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060		
Тепловая изоляция, млн м³	2,2	5,0	X2,3	3,1	2,1	2,1	x 1
АИТП/АУУ, тыс. шт.	29	33	x1,1	34	34	32	x1,2
Тепловые насосы, МВт	1	196	x 196	450	1 123	3 208	x3208
Солнечные подогреватели, МВт	4	146	x37	562	1 003	1 779	x444
Фотоэлектрические установки, МВт	1	18	x18	800	2 313	3 807	x3807
Умные приборы учета, млн шт.	0,8	5,6	x7	0,9	0,9	0,8	x1,1

* максимальное значение за одно из десятилетий.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Таблица 7.12 Стоимость жизненного цикла МКД и приведенные затраты выработки тепла (в ценах 2021 года)

	2021	2030	2040	2050	2060
Стоимость цикла жизни для МКД, руб./м²					
Существующие МКД	92 645	109 321	128 999	152 219	179 619
Новые «пассивные» здания	112 500	116 099	123 297	130 942	139 060
Новые МКД с низким энергопотреблением	102 573	113 774	126 198	139 978	155 264

В каждом году закрашены одна-две технологии с самыми низкими затратами. В расчетах использована цена на углерод, которая вводится в 2025 году в размере 3 долл./тCO₂ и затем равномерно растет до 108 долл./тCO₂ к 2060 году.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Россия располагает большим и сравнительно дешевым потенциалом экономии энергии в зданиях. Сотни энергетических обследований, проведенных ЦЭНЭФ-XXI во многих городах России, показали, что²⁵⁴:

- в зданиях существенны утечки тепла через ограждающие конструкции: окна, лоджии, стены, особенно на стыках и в местах установки отопительных приборов, межпанельные швы и цоколи подвальных помещений;
- МКД, прошедшие капитальный ремонт, в среднем потребляют энергии на 10% меньше, чем МКД, не прошедшие капитального ремонта; однако во многих МКД после капитального ремонта не произошло повышения энергетической эффективности;
- МКД, построенные в 2019-2021 годах, в среднем на 35% более энергоэффективны, чем МКД, построенные до 1978 года. То есть нормативные требования по повышению энергоэффективности дают реальный эффект;
- МКД, построенные из материалов с высокими параметрами теплозащиты, в 2 раза более энергоэффективны, чем МКД, построенные из материалов без использования теплоизоляции;
- МКД, оснащенные АИТП, потребляют энергии на 16-17% меньше базового уровня.

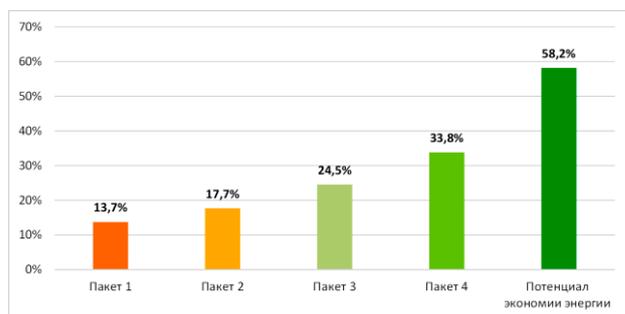
Практический опыт показывает, что средняя экономия тепловой энергии по итогам проведения энергоэффективного капитального ремонта МКД в России равна 16-20% (даже без мер по утеплению оболочки МКД), и для отдельных МКД она может превышать 40-50%. Оценка потенциала экономии энергии на основе бенчмаркинга зданий по уровню энергоэффективности показала,²⁵⁵ что: при доведении по итогам энергоэффективного капитального ремонта удельного расхода энергии до базового уровня экономия может составить 42-45%; при доведении по итогам энергоэффективного капитального ремонта удельного расхода энергии до уровня А++ экономия может составить 77-78%; потенциал экономии энергии на нужды ГВС равен 27%. Поэтому целевые индикаторы для зданий в первую очередь ориентированы на повышение параметров энергоэффективности, а затем дополняются индикаторами по развитию децентрализованной генерации тепловой и электрической энергии.

Чем более полный пакет мер по повышению энергоэффективности реализуется, тем большую часть потенциала экономии энергии удается реализовать. Для четвертого пакета мер (см. рис. 7.5) степень реализации потенциала достигает почти 60%. Для его полной реализации нужны более дорогие меры, включая тепловую изоляцию ограждающих конструкций. В среднем для пакетов 1 и 2 меры по повышению энергоэффективности одного МКД обходятся в 2,3-2,6 млн руб., для пакета 3 – в 4,3 млн руб., для пакета 4 – в 9,2 млн руб. В среднем на каждые 100 руб./м² прироста затрат на энергоэффективный капитальный ремонт МКД получается экономия тепловой энергии в размере 3,8 кВт·ч/м². Среднее снижение годовых расходов на тепловую энергию для пакетов 1 и 2 равно 400-500 тыс. руб./МКД/год, для пакета 3 оно растет почти до 700 тыс. руб./МКД/год, а для пакета 4 превышает 1 млн руб./МКД/год. Доля площади МКД, для которых сроки окупаемости третьего пакета мер ниже 3 лет, равна 34%, ниже 5 лет – 47%, ниже 7 лет – 62%, ниже 10 лет – 76%. Среднее снижение выбросов ПГ на 1 МКД за счет реализации 3-го и 4-го пакетов мер по энергоэффективному капитальному ремонту достигает 128-177 тСО₂/МКД/год, а в расчете на единицу площади – 23-33 кгСО₂/м²/год.

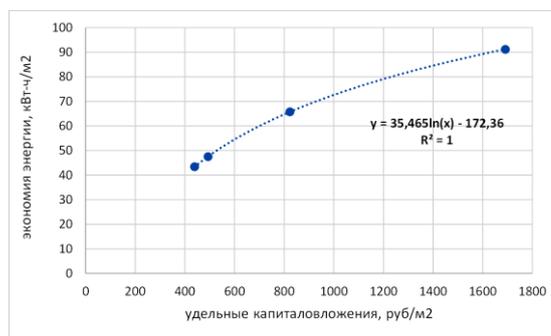
²⁵⁴ Башмаков И.А., В.И. Башмаков, К.Б. Борисов, М.Г. Дзедзичек, А.А. Лунин, О.В. Лебедев и А.Д. Мышак. 2023. Потенциал экономии энергии в МКД России и возможности его реализации. Энергосбережение, №№ 4-5. 2023.

²⁵⁵ Там же.

Рисунок 7.5 Обобщенная оценка потенциала, доли экономии энергии и затрат при реализации четырех пакетов мер по повышению энергоэффективности в обследованных МКД*



оценка доли экономии энергии при реализации четырех пакетов мер по повышению энергоэффективности



обобщенная зависимость экономии энергии на обследованных МКД от средних затрат для четырех пакетов мер по повышению энергоэффективности

* Первый пакет включает установку автоматического регулирования (АУУ), ремонта инженерного оборудования и установку циркуляционного трубопровода. Второй пакет включает установку вместо АУУ автоматизированного индивидуального теплового пункта. В третьем пакете перечень мер расширяется до десяти за счет сравнительно дешевого набора мер по утеплению оболочки МКД. В четвертый пакет включены дополнительные меры по утеплению фасада здания, включая замену окон в квартирах на энергоэффективные.

Источник: Башмаков И.А., В.И. Башмаков, К.Б. Борисов, М.Г. Дзедзичек, А.А. Лунин, О.В. Лебедев и А.Д. Мышак. 2023. Потенциал экономии энергии в МКД России и возможности его реализации. Энергосбережение. №№4 и 5. 2023.

В сценарии 4D прямые выбросы ПГ от жилых зданий снизятся до 47 млн тСО₂экв. к 2060 году.²⁵⁶ С 2029 года требования к энергоэффективности для новых зданий будут ужесточены, чтобы к 2060 году новые здания достигли класса А+. Энергоэффективная капитальная модернизация зданий и ее эффект значительно увеличатся. Появится более энергоэффективная бытовая техника. Стимулы позволят запустить программы по децентрализованному производству электрической и тепловой энергии на базе возобновляемых источников энергии. В 2060 году выработка электроэнергии потребителями в жилых зданиях достигнет 36 млрд кВт-ч. Значительное повышение энергоэффективности позволит сократить потребление энергии в жилых зданиях на 20% до 122 млн т у.т.

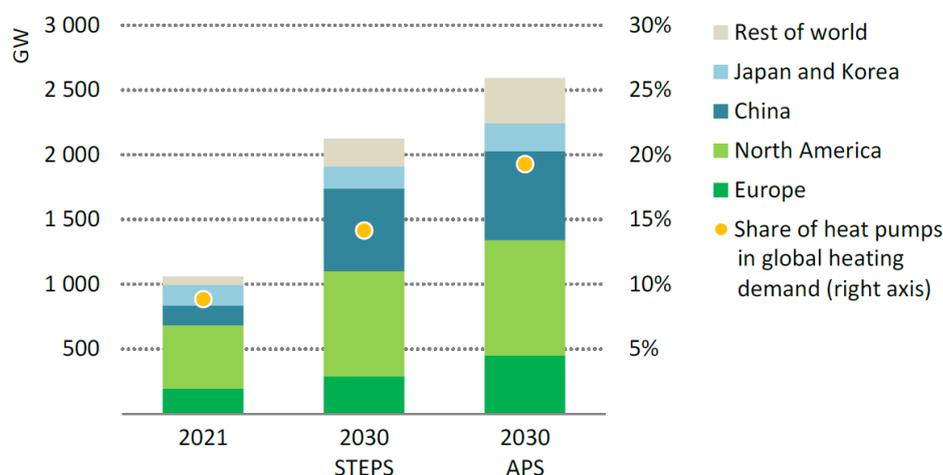
Масштабная декарбонизация централизованных и децентрализованных систем теплоснабжения возможна на основе широкого применения тепловых насосов, использующих низкоуглеродную электроэнергию. Условием их эффективного применения является снижение потребности в тепле за счет утепления оболочки зданий и регулирования подачи тепла. Имеющиеся на рынке тепловые насосы в 3-5 раз более энергоэффективны, чем газовые котлы.²⁵⁷ Их преимуществом также является возможность использования для целей охлаждения.

²⁵⁶ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichek, A. Lunin, I. Govor. 2022. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENef-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060/>; Башмаков И. Россия на пути к углеродной нейтральности: три четверки и одна двойка. Нефтегазовая вертикаль. № 11, 2022; Башмаков И. Сценарии движения России к углеродной нейтральности. Энергосбережение. № 1, 2023.

²⁵⁷ IEA. 2022. The Future of Heat Pumps.

В России в 2021 году менее 0,03% потребности в тепловой энергии покрывали тепловые насосы, а в мире – около 10%. В Норвегии 60% зданий оснащены тепловыми насосами, а в Швеция и Финляндия – более 40%,²⁵⁸ что показывает пригодность этой технологии для стран с холодным климатом. Ожидается, что глобальная мощность тепловых насосов вырастет с 1000 ГВт в 2021 году до 2100-2600 ГВт к 2030 году (рис. 7.6), а их доля в обеспечении отопления зданий с 10% в 2021 году – до 20% к 2030 году в сценарии принятых мер политики МЭА и до 40% в сценарии углеродной нейтральности.²⁵⁹ На мировом рынке продолжают доминировать воздушные тепловые насосы (продажи после 2018 года на уровне более 25 млн единиц в год²⁶⁰) при лидерстве Китая, Японии, Европы и Северной Америки. На Китай приходится около половины этих продаж. Геотермальные тепловые насосы занимают вторую по величине рыночную нишу.²⁶¹ Тепловые насосы также могут удовлетворять потребности централизованного теплоснабжения, поскольку они могут обеспечивать нагрев теплоносителя до температуры 140-160°C.

Рисунок 7.6 Мощность тепловых насосов в зданиях по странам/регионам и по сценариям в 2021 и в 2030 годах



Источник: IEA. 2022. The Future of Heat Pumps.

Ожидается, что глобальные инвестиции в установку тепловых насосов утроятся к 2030 году и достигнут 350 млрд долл. США в ценах 2021 года. Мировые продажи тепловых насосов выросли почти на 15% в 2021 году. Ведущие производители объявили о планах инвестировать более 4 млрд долл. США в расширение производственных мощностей по производству тепловых насосов в основном в Европе. IRENA в сценарии углеродной нейтральности ожидает роста числа тепловых насосов в зданиях с 53 млн в 2019 году до 142 млн в 2030 году и до 290 млн в 2050 году, а в промышленности – с 1 млн в 2019 году до 35 млн в 2030 году и до 80 млн в 2050 году при росте среднегодовых инвестиций с 12 млрд долл. в среднем в 2017-2019 годы до 154 млрд долл. в 2021-2030 годы с последующим снижением до 77 млрд долл. в 2031-2050 годы.²⁶²

Для России принято, что доля использования тепловых насосов в индивидуальных зданиях определяется на основе стоимостной конкуренции разных вариантов теплоснабжения, и за счет улучшения экономических характеристик относительно традиционных систем

²⁵⁸ Там же.

²⁵⁹ Там же.

²⁶⁰ RENEWABLES 2022. GLOBAL STATUS REPORT. REN 21.

²⁶¹ Там же.

²⁶² IRENA (2022), World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

отопления доля тепловых насосов в обеспечении потребности в тепле на цели отопления повышается к 2060 году до 7%.

Доля России в производстве тепловой энергии на солнечных коллекторах от общемирового значения в 2020 году составила 0,002%.²⁶³ Возможно, она на порядок выше, поскольку значительная часть тепловой энергии для целей ГВС используется летом в индивидуальных зданиях и на дачах в самодельных (как правило, относительно примитивных) установках и поэтому не попадает в статистику, которая включает данные по продажам установок фабричного производства.

Установленная мощность систем солнечного теплоснабжения в мире в 2021 году составила 522 ГВт, или 746 млн м² площади коллекторов.²⁶⁴ На них выработано 425 ГВт-ч тепловой энергии, что соответствует экономии 45,7 млн т нефти и снижению выбросов на 147,5 млн тСО₂. По мощности этот вид ВИЭ уступает только ВЭС и СЭС. Годовой оборот этой отрасли в 2020 году был равен 19 млрд долл. В сценарии IRENA 1,5°C площадь солнечных коллекторов увеличится до 3000 млн м² к 2030 году;²⁶⁵ из них 1272 млн м² в промышленности, а остальное – преимущественно в зданиях. Промышленное использование солнечного тепла резко возрастет к 2050 году и обеспечит 5% потребности сектора в тепле.

Солнечные коллекторы устанавливаются не только на индивидуальных зданиях, но и на МКД, и на других объектах. В Китае, который является мировым лидером этого рынка (73% установленной мощности в 2021 году), наибольшая доля коллекторов (с единичной площадью более 1000 м²) – 64% – была установлена на МКД и только 6% на индивидуальных зданиях. Развиваются рынки для использования солнечной энергии в промышленности и централизованном теплоснабжении.²⁶⁶ Системы солнечного воздушного отопления могут быть интегрированы в здание и позволяют снизить потребление топлива или централизованного тепла на 20–30%. Холодная Канада является мировым лидером в их применении. Однако в целом доминируют водяные системы солнечного теплоснабжения.

Появились и динамично развиваются системы солнечной когенерации – фотоэлектрические-тепловые коллекторы (PVT). Рынок этих коллекторов в 2021 году вырос на 13%. Было установлено 6036 новых систем PVT, а их общее число выросло до 34 тыс. шт. общей площадью 1,4 млн м² и мощностью 751 МВт тепловых и 254 МВт электрических.²⁶⁷

В модели для России доля использования систем солнечного теплоснабжения в жилых зданиях зависит от соотношения стоимостных параметров разных вариантов теплоснабжения. Введение налога на углерод ведет к удорожанию традиционных технологий теплоснабжения, а эффекты обучения и масштаба позволяют удешевлять технологию солнечного теплоснабжения, что позволяет к 2060 году повысить их долю в обеспечении потребности в тепле на ГВС до 12%.

²⁶³ Weiss W., M. Spörk-Dür. 2022. SOLAR HEAT WORLDWIDE. Global Market Development and Trends. 2021. Detailed Market Figures 2020. 2022 Edition AEE - Institute for Sustainable Technologies 8200 Gleisdorf, Austria. May 2022.

²⁶⁴ Там же; RENEWABLES 2022. GLOBAL STATUS REPORT. REN 21.

²⁶⁵ IRENA (2022), World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

²⁶⁶ На конец 2021 г. в мире – в основном в скандинавских странах - работало 299 крупномасштабных солнечных систем централизованного теплоснабжения (>350 кВтч, 500 м²) с установленной мощностью 1 645 МВт (2,35 млн м²).

²⁶⁷ Weiss W., M. Spörk-Dür. 2022. SOLAR HEAT WORLDWIDE. Global Market Development and Trends. 2021. Detailed Market Figures 2020. 2022 Edition AEE - Institute for Sustainable Technologies 8200 Gleisdorf, Austria. May 2022

В последние годы динамично развивается децентрализованная генерация электроэнергии (преимущественно на крышах зданий). По оценкам ЦЭНЭФ-XXI, в России их мощность составляет примерно 3 МВт, или 0,0006% от общемировой. В мире на зданиях в 2021 году было установлено 75 ГВт фотоэлектрических панелей,²⁶⁸ а в 2022 году – уже 111 ГВт.²⁶⁹ В 2023 году суммарная установленная мощность децентрализованных СЭС превысит 500 ГВт. В жилищном секторе США их суммарная мощность на жилых зданиях превысила 10 ГВт, а число достигло 3 млн.²⁷⁰ В основном они устанавливаются на крышах. Средняя мощность одной системы, установленной в 2021 году, составила 7 кВт, а ее средняя эффективность выросла с 13,6% в 2002 году до 20,1% в 2021 году. В разные годы от 28 до 59% установок принадлежали третьей стороне. На долю систем с хранением энергии, установленных в 2021 году, пришлось 10%. За период с 2000 по 2021 годы средняя стоимость установки снизилась с 15000 до 4000 долл./кВт в основном за счет существенного снижения стоимости модулей. Надбавка за блок хранения энергии для батареи в 5 кВт с емкостью хранения 10-15 кВт-ч равна 1900 долл./кВт. В Китае в 2021 году из прироста мощности СЭС на 54,9 ГВт 53% (29,3 ГВт) составила распределенная генерация. В целом на нее в 2021 году пришлось 107,5 ГВт, или 35% всех мощностей СЭС.²⁷¹ В Индии из 14 ГВт СЭС, введенных в 2021 году, 5 ГВт пришлось на распределенную генерацию.

В данной работе используется умеренная оценка возможности роста собственной генерации в жилых зданиях до почти 40 млрд кВт-ч в 2060 году. Приведенные затраты на выработку децентрализованной электроэнергии на СЭС при удельных капитальных вложениях 4000 долл./кВт равны 0,10-0,13 долл./кВт-ч без субсидий и около 0,05 долл./кВт-ч с субсидиями в размере 30% от стоимости установки. По опыту США, удельные затраты снижались на 400 долл./кВт в год, или на 6% в год. Если в перспективе они будут снижаться на 3% в год, то к 2060 году составят 0,05-0,06 долл./кВт-ч (без субсидий). Средняя по России розничная цена электроэнергии в начале 2023 г. составила 0,06 долл./кВт-ч для квартир в МКД с электроплитами и 0,064 долл./кВт-ч для остальных. Ожидается, что второй тариф к 2060 году удвоится. Таким образом, технология децентрализованной генерации электроэнергии на СЭС в зданиях станет в два раза более дешевой альтернативой получению сетевой энергии, и ее применение может быть в большей степени ограничено наличием оборудования, компаний, готовых его устанавливать, обслуживать и предоставлять услуги агрегаторов по управлению распределенной генерацией.

Для решения поставленных в данной работе задач масштабы применения низкоуглеродных решений (табл. 7.10) трансформированы в среднегодовые приросты производственных мощностей по выпуску соответствующих материалов и оборудования, использование которых обеспечивает необходимые объемы применения этих решений (табл. 7.11).

С 2040 года новые МКД с низким энергопотреблением и пассивные МКД выходят на паритет по стоимости жизненного цикла со зданиями, соответствующим нынешним требованиям по энергоэффективности. Для проведения сопоставлений использована концепция стоимости жизненного цикла здания.²⁷² Для капитального ремонта зданий с полным пакетом мер (пакет 4, см. выше) по повышению энергоэффективности стоимость

²⁶⁸ RENEWABLES 2022. GLOBAL STATUS REPORT. REN 21.

²⁶⁹ [Global installed PV capacity passes 1.18TW - study \(pv-tech.org\)](https://www.pv-tech.org/global-installed-pv-capacity-passes-1.18tw-study)

²⁷⁰ Barbose G., N. Darghouth, E. O'Shaughnessy, and S. Forrester. 2022. Tracking the Sun. Pricing and Design Trends for Distributed Photovoltaic Systems in the United States. 2022 Edition. Lawrence Berkeley National Laboratory. September 2022.

²⁷¹ RENEWABLES 2022. GLOBAL STATUS REPORT. REN 21.

²⁷² См. подробнее в Башмаков И. и А. Мышак. 2015. Оптимизация энергоэффективности зданий на основе оценки стоимости жизненного цикла. Энергосовет. №№ 3-5. 2015.

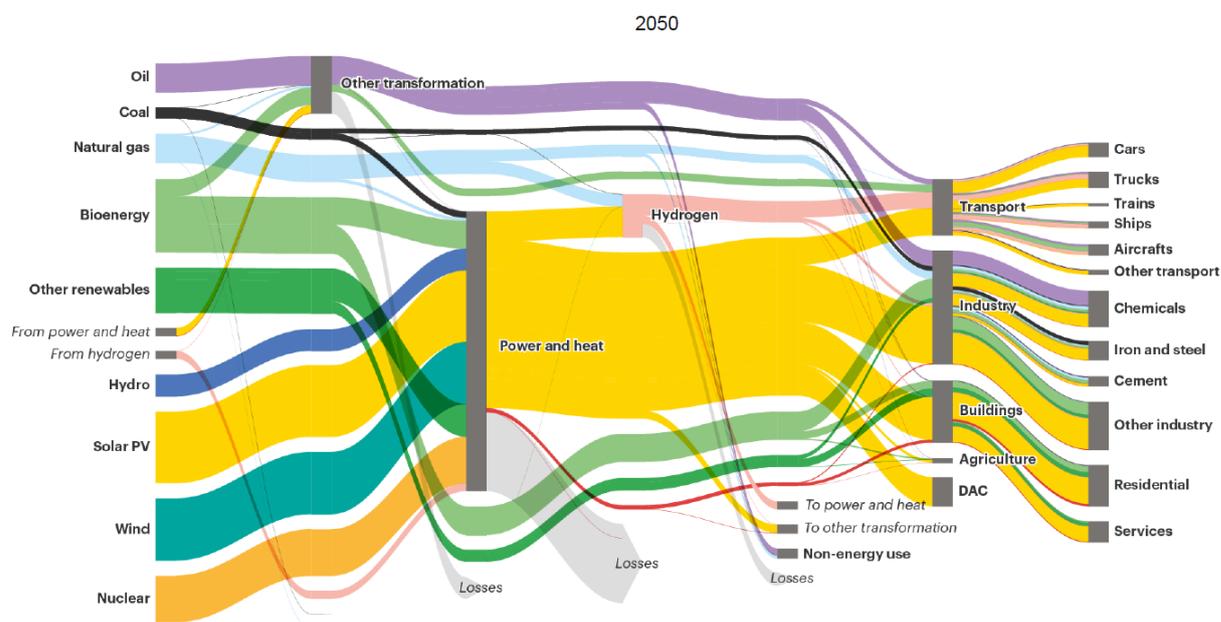
жизненного цикла также ниже, чем для зданий, на которых капитальный ремонт проводится без включения мер по повышению энергоэффективности.²⁷³

С 2040 года системы с тепловыми насосами и солнечными подогревателями становятся конкурентоспособными по приведенным затратам на производство тепловой энергии (табл. 7.12).

7.6 Водород

Водород является крупным зарождающимся рынком, размер которого составит 165-536 млн т в 2050 году.²⁷⁴ К 2050 году водород может стать заметным элементом мирового энергетического баланса (рис. 7.7). Как и электроэнергия, он может производиться из большого набора первичных энергетических ресурсов – от угля и газа до солнечной энергии. Как и электроэнергия, он может использоваться во всех секторах конечного использования энергии. МЭА ожидает, что к 2050 году основной спрос на водород будет со стороны морского и авиационного транспорта, где существуют ограничения на использование других энергоносителей для замены ископаемых топлив. Более того, водород, получаемый на основе электролиза при использовании ВИЭ, может использоваться для производства синтетических топлив с применением углерода из систем CCUS.

Рисунок 7.7 Глобальные энергетические потоки в сценарии углеродной нейтральности (NZE) МЭА в 2050 году



Источник: IEA. 2023. Energy Technology Perspectives. 2023.

Водород — это не новый продукт. В 2021 году в мире было произведено 94 Мт водорода²⁷⁵ в основном из природного газа (59%), как побочный продукт при переработке нефти (21%), из угля (19%) и других видов ископаемого топлива.²⁷⁶ В основном водород используется для

²⁷³ Там же.

²⁷⁴ IEA. World Energy Outlook. 2022; BP Energy Outlook 2050: January 2023; IRENA. World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi; Shell International Limited. 2023. The Energy Security Scenarios. Full report. [The Energy Security Scenarios | Shell Global](#); McKinsey & Company. 2022. Global Energy Perspective 2022. Executive Summary.

²⁷⁵ IEA. Global Hydrogen Review 2022 [Global Hydrogen Review 2022 \(windows.net\)](#).

²⁷⁶ Гайда И. и Ю. Ляшик. Роль низкоуглеродного водорода из природного газа. Сколково. 30 мая 2022 года.

собственных нужд нефтеперерабатывающих (40 Мт), нефте- и газохимических предприятий (34 Мт – производство аммиака и 14 Мт – производство метанола), а также в черной металлургии (5 Мт). В новых низкоуглеродных технологиях во всем мире используется только 40 тыс. т водорода, из них 30 тыс. т на транспорте (в основном в 60 тысячах электромобилей с топливными элементами).²⁷⁷ В России в 2021-2022 годах, по данным Росстата, производилось около 2,4 млрд м³ водорода, или 0,21-0,22 млн т, или 0,2% мирового производства в эти годы.

Новый продукт – это низкоуглеродный водород. В 2021 году в мире было произведено только 1 Мт такого водорода (1%) на базе ископаемого топлива с системами CCUS. При успешном завершении уже объявленных проектов производство низкоуглеродного водорода может вырасти до 16-24 Мт к 2030 году, в т.ч. 9-14 Мт на базе электролиза и 7-10 Мт на базе ископаемых топлив с CCUS. МЭА ожидает, что мировое производство водорода с низким уровнем выбросов ПГ в сценарии углеродной нейтральности (NZE) составит 30-90 млн т в 2030 году и 455 Мт в 2050 году. На природный газ с CCUS придется 20% производства водорода в 2030 году и 25% в 2050 году. Для производства прочего (зеленого и желтого) водорода потребуется 260 ГВт установленной мощности электролизеров, для обеспечения работы которых нужно более 1000 ТВт мощностей ВИЭ с низким уровнем выбросов ПГ. Для строительства электролизеров и систем CCUS нужно инвестировать 170 млрд долл.

Уже опубликовано около 80 национальных стратегий или дорожных карт развития водородной энергетики.²⁷⁸ На мировом рынке водорода ожидается сильная конкуренция, поскольку многие страны планируют нарастить его производство и экспорт, и лишь ЕС, Япония и Корея предположительно станут крупными импортерами. В основе конкуренции будут углеродный след и затраты. Есть возможность распространения механизма CBAM на торговлю водородом,²⁷⁹ и в переходный период это может препятствовать выходу на рынок достаточных объемов экономически доступного водорода.

Производство электролизеров для производства водорода находится в зачаточном состоянии.²⁸⁰ В 2021 году производственная мощность электролизеров в мире составила около 8 ГВт, а в 2022 году она увеличилась до 11 ГВт. Объявленные на конец первого квартала 2023 году проекты позволят увеличить ее на 125-134 ГВт к 2030 году.²⁸¹ Доля Китая в установленной мощности электролизеров – 40%. Это ниже, чем для многих других низкоуглеродных технологий. При полной реализации заявленных проектов доля Китая снизится до 25% к 2030 году.

Оценки перспектив наращивания производства водорода в России за последние три года многократно снизились. Первоначально Россия планировала занять пятую часть мирового рынка водорода и ориентировалась на следующие объемы экспорта: до 0,2 млн т в 2024 году, 2-12 млн т в 2035 году и 15-50 млн т в 2050 году. Довольно быстро стало понятно, что такие планы избыточно амбициозны. Во-первых, весь глобальный объем экспорта водорода на 2030 год оценен равным 12 Мт.²⁸² Во-вторых, было показано, что выход даже на нижнюю границу диапазона для 2050 года является предельно сложной задачей: даже если половина производства водорода в России к 2060 году (15,8 млн т) будет «голубой», то дополнительная потребность в электроэнергии для производства и

²⁷⁷ Там же.

²⁷⁸ Melnikov Y. Hydrogen Strategies of Caspian Region Countries. Estimating Barriers and Opportunities. Energetika 21, International seminar on the way to sustainable energy: regional cooperation in global context. 18th May 2023. Baku.

²⁷⁹ Marcu A., M. Mehling, A. Cosbey, O. Imbault, A. Fernandez. The inclusion of hydrogen in the EU CBAM. ERCST. 2023.

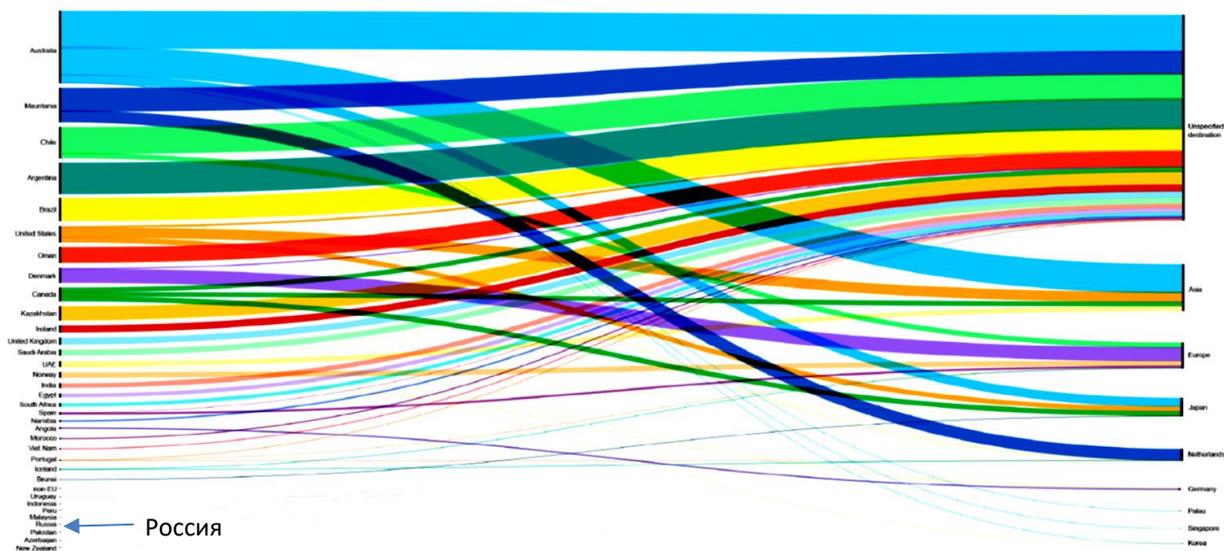
²⁸⁰ IEA. 2023. Energy Technology Perspectives. 2023.

²⁸¹ IEA. Global Hydrogen Review 2022 [Global Hydrogen Review 2022 \(windows.net\)](https://www.iea.org/en/global-hydrogen-review-2022).

²⁸² Там же.

«голубого», и «зеленого» водорода составила бы 350 млрд кВт-ч, или треть сегодняшней выработки электроэнергии в России.²⁸³ Многие потенциальные западные рынки сбыта водорода оказались (как минимум временно) закрытыми, а технологическое сотрудничество с западными партнерами – свернутое. Поэтому на потоках двусторонней торговли водородом МЭА в 2030 году Россию практически не видно (рис. 7.8). Поэтому же в «актуализированной» последней версии «Комплексной программы развития отрасли низкоуглеродной водородной энергетики в Российской Федерации до 2035 года» к 2030 году оценки производства низкоуглеродного водорода снижены до 550 тыс. т в год, и практически весь этот объем предполагается направить на внутреннее потребление, а при его производстве сделать упор на собственные технологические компетенции.²⁸⁴ Эта оценка довольно близка к оценке ЦЭНЭФ-XXI для сценария 4D – 385 тыс. т в 2030 году. В 2050 году производство водорода в этом сценарии выходит на уровень 366 тыс. т, а к 2060 году растет до 1,290 млн т.²⁸⁵ Предполагается также развивать технологии производства и транспортировки водорода.

Рисунок 7.8 Проекты двусторонней торговли водородом в 2030 году



Источник: IEA. Global Hydrogen Review 2022 Global Hydrogen Review 2022 (windows.net).

В данной работе рассматриваются следующие технологии водородной энергетики: производство водорода на основе паровой конверсии метана с использованием CCUS, электролиз воды, производство электролизеров и оборудования для транспорта и хранения водорода. За основу для расчетов взят сценарий 4D,²⁸⁶ в котором производство водорода ориентировано на собственные нужды по декарбонизации отдельных секторов при умеренных оценках возможных объемов экспорта.

Целевые индикаторы (КПИ) для сектора Водород включают 10 показателей: производство «голубого водорода» (паровая конверсия метана), «бирюзового водорода» (пиролиз метана), «желтого водорода» (электролиз на основе электроэнергии от АЭС) и «зеленого водорода» (электролиз на основе электроэнергии от ВИЭ); доля CCUS для

²⁸³ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichek, A. Lunin, I. Govor. 2022a. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENef-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060>.

²⁸⁴ Шансы на экспорт российского водорода существенно сократились / Экономика / Независимая газета (ng.ru)

²⁸⁵ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichek, A. Lunin, I. Govor. 2022a. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENef-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060>.

²⁸⁶ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichek, A. Lunin, I. Govor. 2022a. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENef-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060>.

«голубого водорода»; экспорт водорода; использования водорода при производстве ПВЖ и ГБЖ, аммиака и в нефтепереработке. Оценки значений целевых индикаторов получены на системе моделей и сведены в табл. 7.13-7.14.

Объемы производства водорода зависят в модели от соотношения цен на водород, получаемый по разным технологиям (табл. 7.13). На начальных этапах «голубой водород» сравнительно дешев, поэтому до 2040 года наращивается в основном его производство. Затем, по мере оснащения систем риформинга метана установками CCUS и роста цен на газ за счет налога на углерод, экономическое преимущество получает водород других расцветок (табл. 7.14). Во многих странах паритет ожидается до 2030 года.²⁸⁷ Углеродный след «зеленого водорода» намного ниже, чем «голубого», что дает ему явные конкурентные преимущества.

Таблица 7.13 Целевые индикаторы для водорода (тыс. т)

	2021	2030	2040	2050	2060	
Производство водорода	174	366	659	974	1289	x7,4
						
Производство «голубого водорода»*	174	358	630	888	1010	x5,8
						
Производство «бирюзового водорода»		4	8	19	37	
						
Производство «желтого водорода»		4	9	22	55	
						
Производство «зеленого водорода»		4	12	45	186	
						
Доля CCUS для «голубого водорода»						
Экспорт		123	312	500	688	
ПВЖ и ГБЖ		0	64,5	149	159	
Аммиак		0	0,0	59	180	
Нефтепереработка	174	172	174	172	127	x0,7

* включая водород как побочный продукт нефтепереработки.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

²⁸⁷ Гайда И. и Ю. Ляшик. Роль низкоуглеродного водорода из природного газа. Сколково. 30 мая 2022 года.

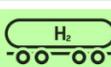
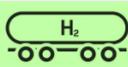
Таблица 7.14 Стоимость водорода, получаемого по разным технологиям (долл./кг в ценах 2021 года)

	2021	2030	2040	2050	2060
зеленый	5,0	4,4	3,7	3,0	2,3
голубой	1,8	1,9	3,2	4,6	5,0
бирюзовый	1,8	1,6	1,5	1,3	1,8
желтый	5,0	4,4	3,7	3,0	2,3
средняя	1,8	2,0	3,2	4,4	4,4

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Отрасль низкоуглеродного водорода в России, как и в мире в целом, должна создаваться практически с нуля. Для того чтобы обеспечить производство водорода и инфраструктуру для его хранения и транспорта, необходимо ежегодно вводить мощности, как это показано в табл. 7.15. Нарастание мощностей происходит постепенно. Расчет произведен при допущении об уровне загрузки мощности на уровне 85% и эффективности систем электролиза на уровне 75%. Для систем хранения водорода было принято допущение, что, как и для природного газа, мощность систем хранения равна 10% от годового объема потребления. В отношении систем транспорта было принято допущение, что весь объем экспорта, а также 10% от объемов внутреннего потребления, транспортируется.

Таблица 7.15 Среднегодовые вводы мощностей для производства водорода

	2021	2030	2040	2050	2060
«Голубой» водород с CCUS, тыс т в год		11	26	42	43
					
«Зеленый» водород, тыс. т в год		0,7	1	4	17
					
Электролизеры, МВт		4	8	19	37
					
Системы хранения, тыс. т в год		2,7	2,9	3,2	3,1
					
Системы транспорта, тыс. т в год		20	34	54	73
					

* включая водород как побочный продукт нефтепереработки.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

В России нет производителей электролизеров промышленного назначения, но разработки ведутся. До 2030 года потребуется вводить в год только 4МВт, тогда как мировое производство электролизеров к 2030 году может вырасти до 60 ГВт в год.²⁸⁸ К двум основным технологиям – проточный щелочной электролиз (основной ожидаемый прирост мощностей в мире приходится именно на эту технологию) и электролизер с протонообменной мембраной (РЕМ) – добавляются новые: технология твердооксидного электролиза и электролизер на базе анионообменной мембраны, или матрицы (АЕМ). Именно такую технологию разработал Росатом. В технологиях парового риформинга (каталитической конверсии легких углеводородов в присутствии водяного пара) и пиролиза метана (разложение метана на водород и твердый углерод) инновационной частью является блок CCUS.

На данном этапе оцениваются только суммарные мощности по транспортировке и хранению водорода. Инфраструктура транспорта и хранения водорода будет состоять из многих элементов, включая трубопроводы, компрессоры, грузовые автомобили, суда, сжиженные и конверсионные заводы, резервуары для хранения и подземные хранилища. Часть технических проблем решена только при транспортировке водорода на сравнительно короткие расстояния. Для более значительных расстояний может потребоваться компрессирование, сжижение или химическое связывание водорода.²⁸⁹

7.7 CCUS

Добиться углеродной нейтральности к 2050 году без масштабного применения технологии CCUS невозможно. Согласно оценкам МГЭИК, чтобы ограничить глобальное потепление уровнем 2°C, кумулятивно до 2100 года необходимо удалить из атмосферы и захоронить 530-670 ГтCO₂,²⁹⁰ или в среднем 7-8 ГтCO₂ в год. К 2050 году потребность в CCUS находится в диапазоне 5-25 ГтCO₂ (средняя – 17 ГтCO₂). В сценарии углеродной нейтральности МЭА она равна 6,2 ГтCO₂ в 2050 году (в других сценариях – 0,4-4,3 ГтCO₂).²⁹¹ В сценариях ВР она равна 1-6 ГтCO₂,²⁹² а в Сценарии 1,5°C IRENA на CCUS приходится 8,4 ГтCO₂.

В данной работе рассматриваются следующие технологии системы CCUS: захват (в таких системах, как электроэнергетика, производство стали, цемента, аммиака и водорода), транспортировка, использование и захоронение CO₂. За основу для расчетов взяты сценарии 4D,²⁹³ в котором системы CCUS применяются в ограниченном перечне отраслей. Кроме того, рассматривается использование CO₂ только при производстве карбамида, а также оценен «эффект губки» при захвате CO₂ бетонными конструкциями.²⁹⁴

²⁸⁸ IEA. Global Hydrogen Review 2022 [Global Hydrogen Review 2022 \(windows.net\)](https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022)

²⁸⁹ Там же.

²⁹⁰ Riahi, K., R. Schaeffer, J. Arango, K. Calvin, C. Guivarch, T. Hasegawa, K. Jiang, E. Kriegler, R. Matthews, G.P. Peters, A. Rao, S. Robertson, A.M. Sebbit, J. Steinberger, M. Tavoni, D.P. van Vuuren, 2022: Mitigation pathways compatible with long-term goals. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khouradajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.005.

²⁹¹ IEA. 2022. World Energy Outlook 2022.

²⁹² ВР Energy Outlook, 2023 Edition. January 2023.

²⁹³ Там же.

²⁹⁴ Башмаков, И.А. (2023) Перспективы декарбонизации цементной промышленности мира, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 9, № 2, с. 33-64, doi:10.21513/2410-8758-2023-2-33-64; Bashmakov et al. (2022b) Industry. In: *Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the IPCC Sixth Assessment Report (AR6)* [Skea, J. et al., (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA; Башмаков, И.А. (2022). Масштаб необходимых усилий по

Целевые индикаторы (KPI) для сектора CCUS включают 8 показателей: суммарный объем захвата CO₂; объемы захвата CO₂ в электроэнергетике, производстве стали, цемента, аммиака и водорода; транспортировка, использование и захоронение CO₂. Оценки значений целевых индикаторов получены на системе моделей и сведены в табл. 7.16-7.18. В сценарии 4D использование технологии CCS начинается после 2030 года.

К 2060 году годовой объем захвата CO₂ достигает 53 млн т. Основная часть приходится на захват технологических выбросов CO₂ за счет кальцинации при производстве цемента и технологических выбросов при производстве аммиака. Часть последних уже сегодня захватывается и используется при производстве карбамида (мочевины). К 2060 году объем использования CO₂ на нужды производства карбамида вырастет почти до 11 млн т.

Для того чтобы достичь указанных объемов захвата CO₂, нужно начиная с 2030 г. ежегодно вводить 0,9 млн т мощностей по захвату, транспортировке и захоронению CO₂, а после 2040 г. – 2,1-2,3 млн т (табл. 7.17). Самые большие вводы требуются в системах производства цемента и аммиака. Поскольку в местах производства этой продукции емкостей для захоронения CO₂, как правило, нет, и в данном сценарии предусмотрено только ограниченное дополнительное использование CO₂, мощности систем транспортировки и захоронения CO₂ должны соответствовать мощности систем захвата. В российских условиях для транспортировки CO₂ потребуется система трубопроводов.

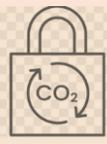
Таблица 7.16 Целевые индикаторы для системы CCUS (млн т)

	2021	2030	2040	2050	2060
Улавливание CO₂			9,0	31,9	52,9
					
электроэнергетика			1,0	2,7	3,6
производство стали			1,1	2,2	2,2
производство цемента			4,9	11,5	16,2
производство аммиака			0,0	10,7	22,8
производство водорода			1,9	4,9	8,0
Использование CO₂	6,6	6,5	8,0	9,3	10,7
					
Эффект губки	20,3	22,4	25,3	27,9	30,1
					

* Выбросы при производстве аммиака даны с учетом использования CO₂ при производстве мочевины, которое показано в строке «Использование CO₂».

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Таблица 7.17 Среднегодовые вводы мощностей для систем CCUS (млн т)

	2015-2022	2023-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060
Улавливание CO₂			0,90	2,29	2,10
					
электроэнергетика			0,10	0,16	0,09
производство стали			0,11	0,11	0,01
производство цемента			0,49	0,66	0,47
производство аммиака				1,07	1,22
производство водорода			0,19	0,29	0,31
Транспортировка CO₂			0,90	2,29	2,10
Хранение CO₂			0,10	0,16	0,09
Использование CO₂	0	0	0,15	0,14	0,14
					

Источник: ЦЭНЭФ-ХХІ.

Россия обладает огромным потенциалом захоронения CO₂. Его оценки варьируют от 10 до 160 ГтCO₂. Потенциал закачки для повышения нефтеотдачи пластов оценивается в 10-12 ГтCO₂, закачки в отработанные нефтяные и газовые месторождения – 57 ГтCO₂, а всего в подземные резервуары разного рода – 127-157 ГтCO₂.²⁹⁵ Суммарный объем захоронения в 2030-2060 годы составит 0,72 ГтCO₂, что не превышает 1,2% от емкости отработанных нефтяных и газовых месторождений и 7% от потенциала закачки CO₂ для повышения нефтеотдачи пластов.

Основные звенья технологической цепочки CCUS уже работают на практике, но в очень ограниченных масштабах. Масштабы использования технологии CCS в мире на 30 реализованных проектах ограничены уровнем 50 МтCO₂. Этого почти хватило бы для ежегодной закачки CO₂ в объемах, которые определены для России на 2060 год с учетом еще строящихся примерно 200 проектов мощность может достичь 200-244 МтCO₂. В 2021 году из точек улавливания CO₂ было транспортировано более 30 МтCO₂, в основном в США, по трубопроводам на месторождения для его закачки в пласты в целях повышения нефтеотдачи. Также прокачено еще 10 МтCO₂ по трубопроводам в выделенные места захоронения.²⁹⁶ Уже имеющиеся в мире мощности близки к тем, что понадобятся России к 2060 году. На начало 2023 года в мире существовало только 7 выделенных промышленных (с мощностью закачки более 100 тыс. тCO₂ в год или больше) площадок для хранения CO₂ с мощностью закачки около 10 Мт/год.²⁹⁷

Существующие оценки стоимости технологии CCUS – это только первые ориентиры. Реальные затраты можно будет оценить при ее существенном масштабировании.

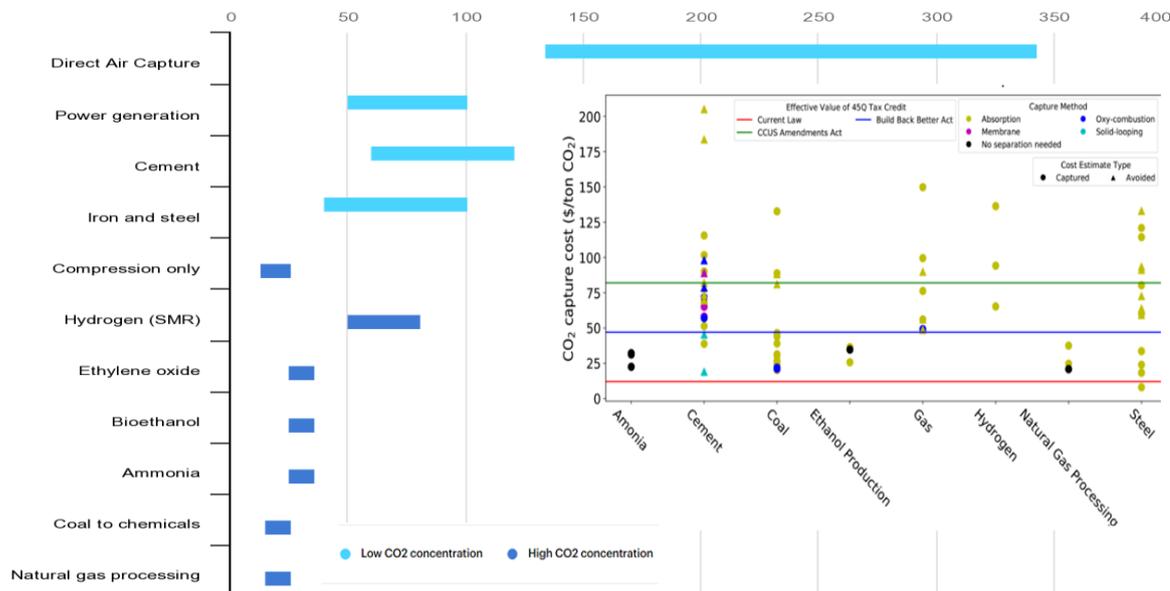
²⁹⁵ Grushevenko E. CCUS economics, potential and perspectives in Russia. Energetika 21, International seminar on the way to Sustainable energy: regional cooperation in global context. 18th May 2023. Baku.

²⁹⁶ IEA. 2023. Energy Technology Perspectives. 2023.

²⁹⁷ Там же.

Существует очень широкий разброс приведенной стоимости CCUS в зависимости от сектора, исходной концентрации CO₂ и технологий захвата (рис. 7.9).

Рисунок 7.9 Приведенные затраты на реализацию CCUS по секторам в зависимости от исходной концентрации CO₂ и технологии захвата



Источники: [Is carbon capture too expensive? – Analysis - IEA](#); Moch J. M., W. Xue, J.P. Holdren. January 2022. Carbon Capture, Utilization, and Storage: Technologies and Costs in the U.S. Context [Carbon Capture, Utilization, and Storage: Technologies and Costs in the U.S. Context | Belfer Center for Science and International Affairs](#).

Для отобранных секторов диапазоны оценок затрат составляют (в долл. США/тCO₂):²⁹⁸

- производство аммиака: 22–32;
- производство цемента: 19–205;
- угольные электростанции: 20–132;
- газовые электростанции: 49–150;
- производство водорода: 65–136;
- производство стали: 8–133;
- транспорт CO₂: 1,3–2,4;
- хранение CO₂: 1,7–34.

По мере отработки технологий и наращивания масштабов их применения экономия на масштабах и темпы обучения позволят заметно (до двух раз) снизить эти затраты.²⁹⁹

²⁹⁸ Tsvetkov, P. Climate Policy Imbalance in the Energy Sector: Time to Focus on the Value of CO₂ Utilization. *Energies* 2021, 14, 411. <https://doi.org/10.3390/en14020411>; Moch J. M., W. Xue, J.P. Holdren. January 2022 Carbon Capture, Utilization, and Storage: Technologies and Costs in the U.S. Context [Carbon Capture, Utilization, and Storage: Technologies and Costs in the U.S. Context | Belfer Center for Science and International Affairs](#); Grushevenko E. CCUS economics, potential and perspectives in Russia. *Energetika 21*, International seminar on the way to Sustainable energy: regional cooperation in global context. 18th May 2023. Baku.

²⁹⁹ Tsvetkov, P. Climate Policy Imbalance in the Energy Sector: Time to Focus on the Value of CO₂ Utilization. *Energies* 2021, 14, 411. <https://doi.org/10.3390/en14020411>.

8

**Три разрыва.
Необходимые
масштабы
внедрения,
ожидаемые
уровни
производства
и локализации
низкоуглеродных
технологий**

8.1 Три разрыва

Задача данной главы – для каждой из рассмотренных в главе 7 технологий оценить три разрыва:

- **технологический разрыв** – нехватка экономически доступных низкоуглеродных технологий с высоким уровнем технологической готовности;
- **разрыв предложения** – нехватка на рынках технологий, услуг по их установке и эксплуатации в масштабах, позволяющих двигаться по намеченным траекториям углеродной нейтральности;
- **разрыв локализации** – нехватка самостоятельно производимого оборудования для снижения рисков, связанных перебоем возможных поставок импортного оборудования, или рисков монопольного диктата цен на этих рынках доминирующими поставщиками, подобно тому, как это десятилетиями происходит на рынках ископаемого топлива.

Оценка масштабов потребности в каждой технологии определена в главе 7. В главе 6 описаны масштабы их применения в 2021-2023 годах и ожидаемое увеличение в рамках объявленных проектов.

В данной главе используется цветовое кодирование светофора: зеленый цвет отражает нынешние уровни производства низкоуглеродных технологий в России. Желтый – ожидаемые уровни производства в рамках объявленных проектов. Красный – разницу между необходимыми уровнями использования и ожидаемыми уровнями производства за счет уже имеющихся мощностей и объявленных проектов.

Потребность в технологиях с уровнем технологической готовности ниже 10-11 формирует **технологический разрыв**. То есть еще нет полной уверенности, что эти технологии будут доступны при приемлемых затратах.

Разница в ожидаемых масштабах применения технологий и их ожидаемым производством в России формирует **разрыв предложения**. Он обозначен красным цветом на рисунках ниже по двум причинам. Первое – это индикатор еще не заполненной рыночной ниши. Она может заполняться как за счет увеличения производства в России, так и за счет импорта. При сохранении санкций на длительный срок велика вероятность, что основная часть импорта будет из Китая – страны с красным флагом. Это еще одно соображение, по которому для этого сегмента использован красный цвет.

Разрыв локализации отражен на графиках линией, и он показывает, что определенная часть комплектующих для производимых в России технологий все еще будет импортироваться, что дополнительно к импорту готовых технологий будет повышать зависимость поставок низкоуглеродных технологий на российский рынок от импорта.

8.2 Низкоуглеродные энергетические системы

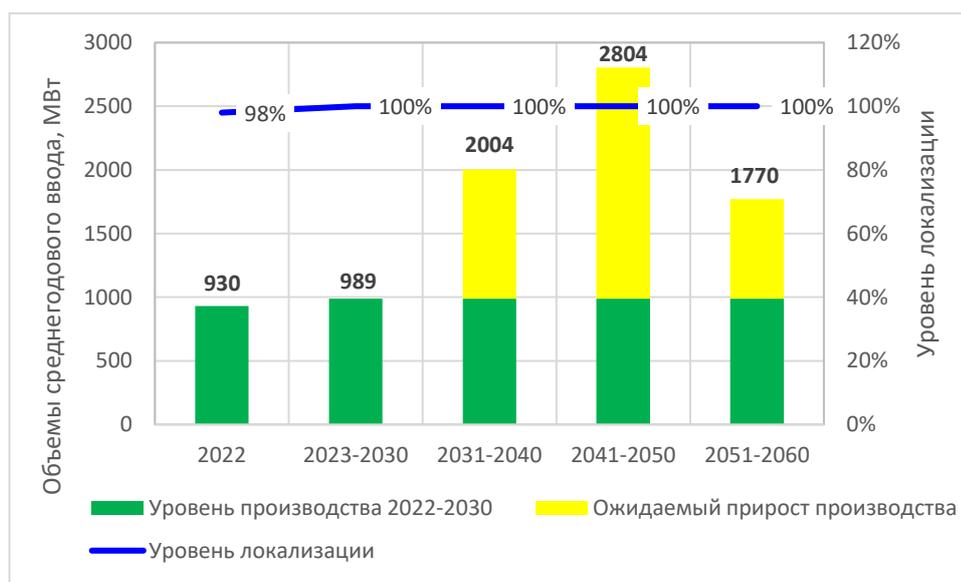
АЭС. Росатом имеет возможности для полного и независимого обеспечения потребности в строительстве АЭС на период до 2060 года (рис. 8.1). Целевые показатели инновационного развития, а также механизмы, используемые для их достижения, изложены в следующих программных документах:

- Государственная программа Российской Федерации «Развитие атомного энергопромышленного комплекса» (Госпрограмма РАЭПК);
- Долгосрочная программа развития Госкорпорации «Росатом» до 2024 года (ДПР);

- Программа инновационного развития и технологической модернизации Госкорпорации «Росатом» на период до 2030 года (в гражданской части) версия 2;
- Единая цифровая стратегия Госкорпорации «Росатом» 4.0 (ЕЦС).

Росатом осуществляет развитие потенциально прорывных научно-технологических направлений (сверхпроводимость, водородная и термоядерная энергетика), новых продуктов в рамках развития «зеленой энергетики» (ветроэнергетика, системы накопления энергии), а также разработку передовых технологий широкого спектра использования (новые материалы, аддитивные технологии, лазерные технологии, ядерная медицина и др.).

Рисунок 8.1 Среднегодовые вводы мощностей АЭС и источники их покрытия в 2023-2060 годах



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

Отдельным перспективным направлением является производство топлива для РБН. В 2020 году проведены приемочные испытания ТВС первой полной перегрузки активной зоны реактора БН-800 МОКС-топливом, что позволяет начать перевод реактора БН-800 на активную зону с полной загрузкой МОКС-топливом. Продолжается реализация проекта «Прорыв» по сооружению модуля фабрикаци-рефабрикаци топлива и РБН БРЕСТ ОД 300, который будет работать на смешанном нитридном уран-плутониевом топливе.

Ядерное топливо российского производства полностью обеспечивает реакторные потребности России.³⁰⁰ Дочерние организации в кооперации с компанией Framatome также поставляют топливо и компоненты из регенерированного урана на западноевропейские АЭС. Общая доля Росатома на рынке фабрикаци ядерного топлива составляет 17%. Ядерное топливо российского производства полностью обеспечивает реакторные потребности Чехии, Словакии, Венгрии, Болгарии и Армении. Росатом также частично обеспечивает реакторные потребности Украины, Финляндии, Индии и Китая.

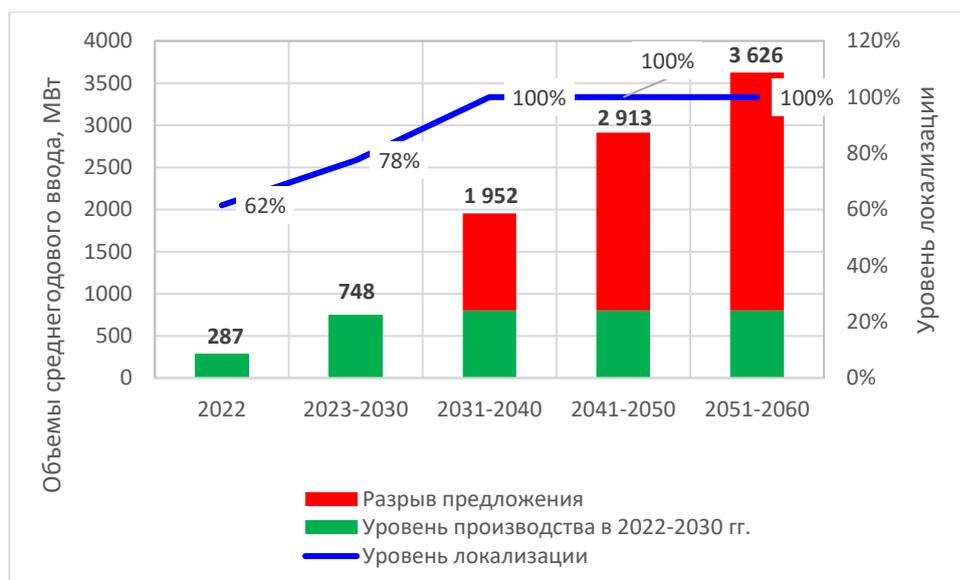
С 2022 года Росатом участвует в переговорах с 20 иностранными заказчиками о новых проектах в сфере строительства АЭС.³⁰¹

³⁰⁰ Программа инновационного развития и технологической модернизации Госкорпорации «Росатом» на период до 2030 года.

³⁰¹ <https://www.interfax.ru/business/874939>.

Ветровые электростанции. Ожидается преодоление технологического разрыва к 2027 году и достижение уровня локализации около 100% к 2027 году. Разрыв предложения на 2060 год – 2,9 ГВт (рис. 8.2). Существует озабоченность в отношении готовности производить оборудование в необходимых масштабах, опасения по поводу возникновения супермонополии в области строительства ВЭС, а также попадания в зависимость от Китая с возможным повторением «шокового» ухода в 2022 году иностранных производителей с рынка строительства ВЭС в России.

Рисунок 8.2 Среднегодовые вводы мощностей ВЭС и источники их покрытия в 2023-2060 годах



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

В 2025-2027 годах ежегодный масштаб производства оборудования для ВЭС в России может быть оценен в 750-800 МВт. В рамках программы поддержки ветроэнергетики по ДПМ ВИЭ 2.0 требуется уровень локализации 75-80%. К 2035-2040 годам ожидается выход на уровень локализации 100%. По мнению АРВЭ, сегодня российским производителям ветроустановок «не стоит ставить агрессивных целей»,³⁰² на первом этапе необходимо технологическое партнерство с лидерами рынка, которые уже прошли тот путь, по которому идут сейчас в России. Так или иначе, основные производители во всем мире работают на готовых технологиях родом из Европы. Таким образом, не придется исправлять ошибки прошлого, можно использовать уже обкатанные технологии.

Имеются запросы к России на создание ветроэнергетических мощностей от Вьетнама, Мьянмы, Турции, Евразии и СНГ.³⁰³

Солнечные электростанции. Технологического разрыва нет, уровень локализации близок к 100%, но к 2060 году существует разрыв предложения на уровне 2,2 ГВт (рис. 8.3). По данным Хевел,³⁰⁴ завод в Новочебоксарске и предприятие, которое сегодня проектируется в Калининграде, вместе смогут ежегодно выпускать оборудование для СЭС мощностью 1,4 ГВт, что соответствует объемам необходимого ввода в 2031-2040 годах. Разрабатываются новые технологии – перовскитная (*perovskite*), позволяющая заметно

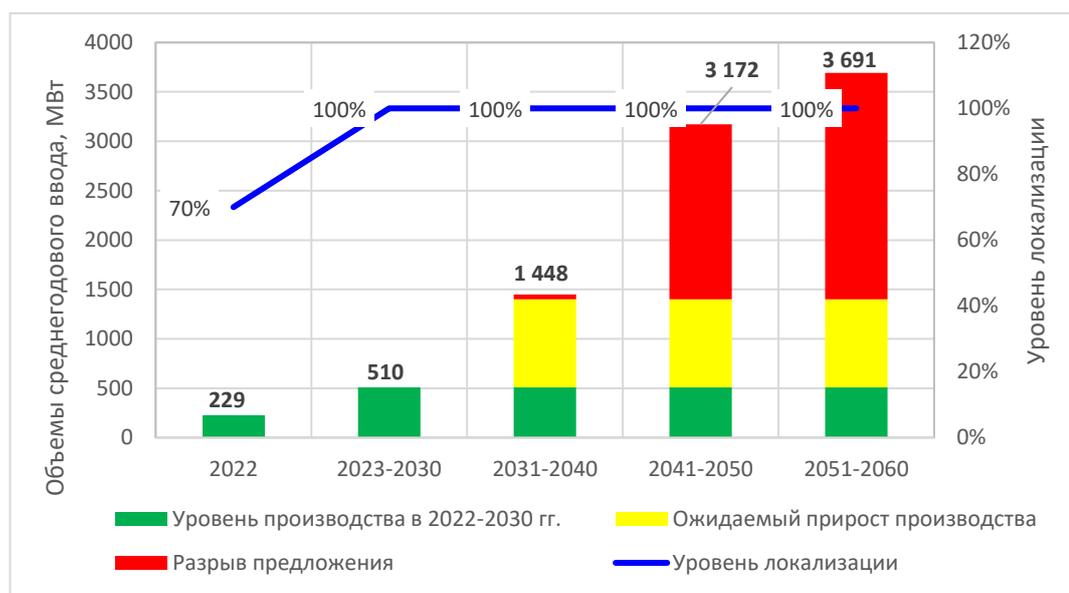
³⁰² [Шок и трепет российской ветроэнергетики - Федеральный бизнес журнал \(business-magazine.online\)](https://business-magazine.online/).

³⁰³ <https://tass.ru/ekonomika/17846415>; <https://www.atomic-energy.ru/news/2023/05/29/135630?ysclid=ljo1i81218815499037>.

³⁰⁴ <https://www.vedomosti.ru/business/characters/2021/05/16/869910-prognozi-v-solnechnoi-energetike?ysclid=liwvimrjep805931557>.

снизить затраты, повысить КПД ячеек и получить самый дешевый в мире солнечный модуль на базе органических материалов. Такие материалы очень быстро деградируют, и их нужно моментально инкапсулировать в модуль. Над борьбой с этой деградацией сегодня работают ученые всего мира, в том числе и в России. Если совместить эту технологию с гетероструктурной (она применяется для изготовления модулей на заводе в Новочебоксарске), то КПД СЭС сразу вырастет до 30%. Развиваются и другие технологии: некогда популярные PERC технологии (заключаются в создании дополнительного пассивирующего диэлектрического слоя на задней стороне солнечного элемента; для создания p+ слоя в этом пассивирующем слое лазером вскрываются окошки, что ограничивает диффузию алюминия в кремниевую подложку) уходят в технологию TOPCon, расширяется применение IBC (повышенная производительность панелей при более высоких температурах (более высокие температурные коэффициенты мощности с минимальной светоиндуцированной деградацией (LID), что означает более высокий выход энергии в течение срока службы панели). Ключевая тенденция – в росте доли кремниевых технологий n-типа, поиске и внедрении в промышленное производство многокаскадных технологий. Это будет влиять на стоимость солнечных станций, их выработку, конечную цену энергии. Сегодня в мире на основе гетероструктурной технологии выпускается порядка 10% ячеек, и доля этого сегмента будет расти. Ближайшие конкуренты в этом направлении – крупные компании из КНР и Европы.³⁰⁵

Рисунок 8.3 Среднегодовые вводы мощностей СЭС и источники их покрытия в 2023-2060 годах



* Примечание: ожидаемый прирост производства – по данным компании Хевел.

Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

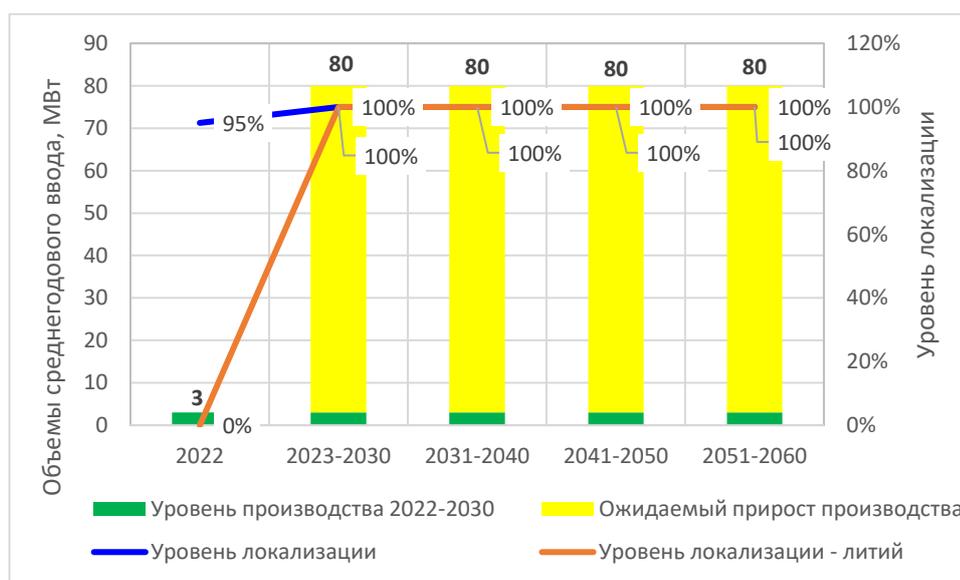
Поставки продукции широкого спектра уже идут и в Европу, и в Азию (в основном Казахстан и Япония). По данным «Хевел», расширение мощностей производства и строительство новых предприятий без поставок за рубеж просто невозможно.⁶ Ячейки для солнечных модулей используются за рубежом в высокотехнологичных продуктах, таких как телекоммуникационные вышки, автомобили, мачты освещения, яхты, фасады и крыши

³⁰⁵ <https://www.energovector.com/portrait-prognozy-v-solnechnoy-energetike-vsegda-otstayut-ot-realnosti.html?ysclid=ljo1kctqrx657064445>.

зданий. В одних случаях поставляются только модули или ячейки, в других – готовые решения для конкретных проектов под ключ.

Сетевые системы накопления энергии. В России с учетом строящихся производств будет достаточно мощностей для внедрения систем накопления энергии в энергетику страны в необходимых масштабах, но за эти мощности будут конкурировать производители батарей для электромобилей, а их загрузка зависит от устойчивости поставок лития на российский рынок (рис. 8.4). Еще нет достаточного понимания реальной потребности в системах накопления для российского рынка. Эта потребность в большой степени зависит от масштабов выработки электроэнергии на ВЭС и СЭС.

Рисунок 8.4 Среднегодовые вводы мощностей СНЭ и источники их покрытия в 2023-2060 годах



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

Разрыв предложения в первую очередь касается лития. Ожидается, что к 2030 году Россия сможет производить 60-70 тыс. т литиевых соединений³⁰⁶ при импорте в 2020 году 7,4 тыс. т. Россия обладает всем необходимым для возрождения производств литиевой и сопутствующей редкометальной продукции на базе собственного сырья.³⁰⁷

После 2025 года предполагается полная локализация при производстве СНЭ при незначительных объемах импорта в основном в дальневосточных регионах из Китая, что связано с ценами на логистику.

³⁰⁶ <https://strana-rosatom.ru/2023/05/18/nuzhnyj-element-perspektivy-razvitiya/>.

³⁰⁷ Саркаров Р.А., Белан С. И. и Гусейнов Н.М. Оценка современного состояния и перспективы добычи лития и его соединений в России. Индустриальная экономика, № 2, том 1, 2022. DOI 10.47576/2712-7559_2022_2_1_57 otsenka-sovremennogo-sostoyaniya-i-perspektivy-dobychi-litiya-i-ego-soedineniy-v-rossii.pdf.

8.3 Промышленность

Электросталеплавильное производство. Технологического разрыва нет. Уровень локализации – 60%, но к 2026 году ожидается рост до 80%. Разрыв предложения составляет 1,1 Мт/год в 2031-2040 годах и растет до 2,2 Мт/год к 2050 году (рис. 8.5). По состоянию на 2022 год уровень локализации основного и вспомогательного оборудования в черной металлургии составлял 30-60%, в том числе дуговые и индукционные печи – 60%. На 2026 год поставлена задача повысить его до 80%.

Рисунок 8.5 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: электросталеплавильное производство



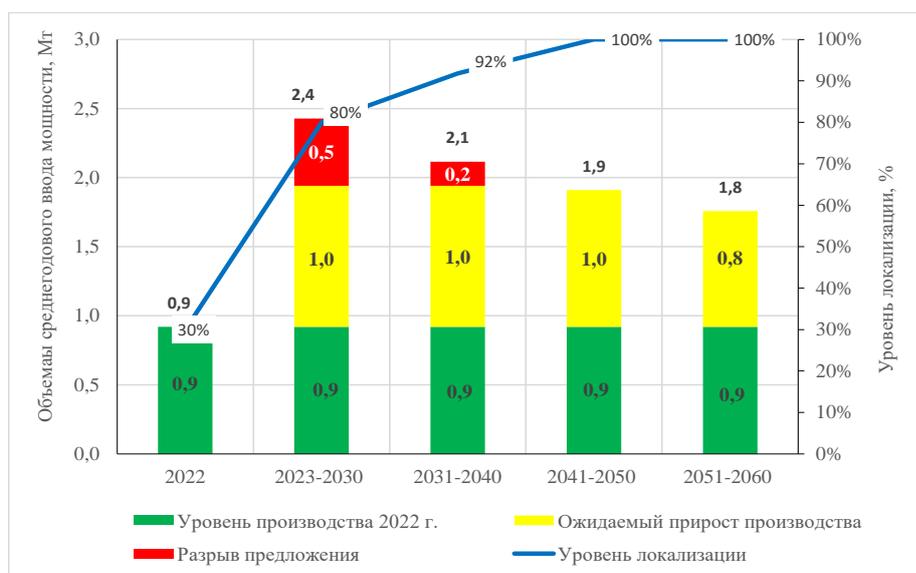
Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

Производство цемента сухим и комбинированными способами. Технологического разрыва нет. Уровень локализации – 30%³⁰⁸, но к 2027 году ожидается рост до 80%,³⁰⁹ а к 2035 году – до 92-100%. Разрыв предложения составляет 0,5 Мт/год в 2030 году и сокращается до 0,2 Мт/год к 2040 году (рис. 8.6).

³⁰⁸ По состоянию на 2022 год основной проблемой цементной отрасли России является критическая зависимость от импортного оборудования. Согласно совместному исследованию НОПСМ и СМПРО, уровень зависимости российских цементных заводов от импортного оборудования составляет не менее 70%. Совместное исследование НОПСМ и СМПРО «Потребность импортозамещения промышленности строительных материалов».

³⁰⁹ Согласно Распоряжению Правительства Российской Федерации от 10.05.2016 № 868_р «Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2024 года» (с изменениями).

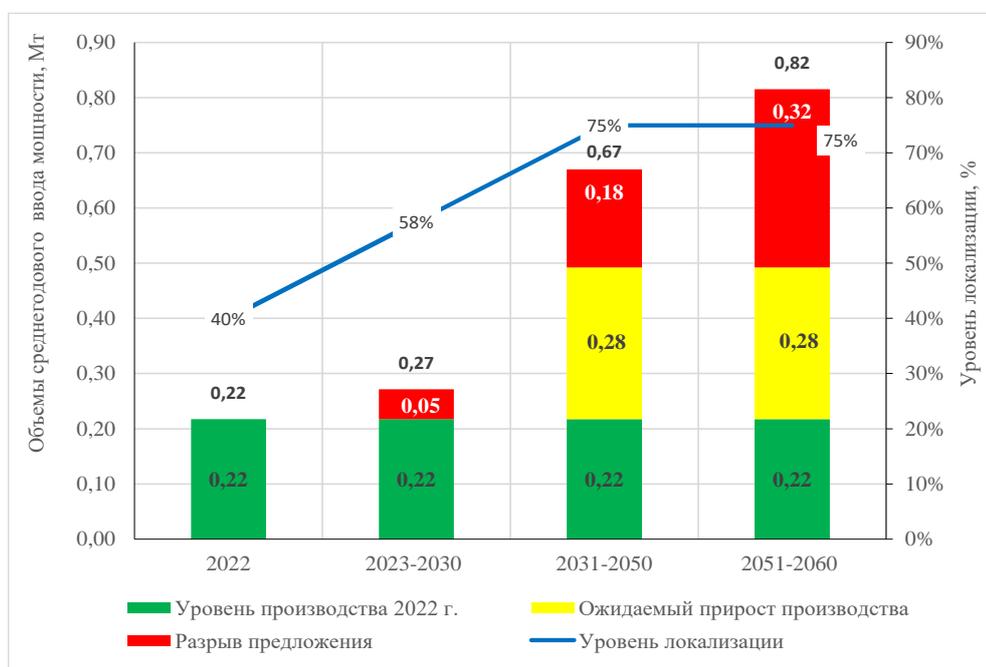
Рисунок 8.6 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: цемент сухим и комбинированными способами



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

Производство аммиака. В 2022 году уровень локализации равен 40%, но к 2040 году ожидается рост до 75%.³¹⁰ Разрыв предложения составит 0,2-0,3 МВт ввода мощностей в год (рис. 8.7).

Рисунок 8.7 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: производство аммиака



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

Весь намеченный объем увеличения производства аммиака приходится на проект «Обский ГХК» с производственной мощностью 2,2 млн т/год низкоуглеродного

³¹⁰ Стратегия развития химического и нефтехимического комплекса до 2024 года и на период до 2035 года (с изменениями).

«голубого» аммиака (в среднем 0,28 Мт ввода мощностей в год). Тогда разрыв предложения «голубого аммиака» с CCUS составит 0,2-0,4 Мт в год (рис. 8.8). При этом ожидаемый прирост производства аммиака составит 0,28 Мт ввода мощностей в год.

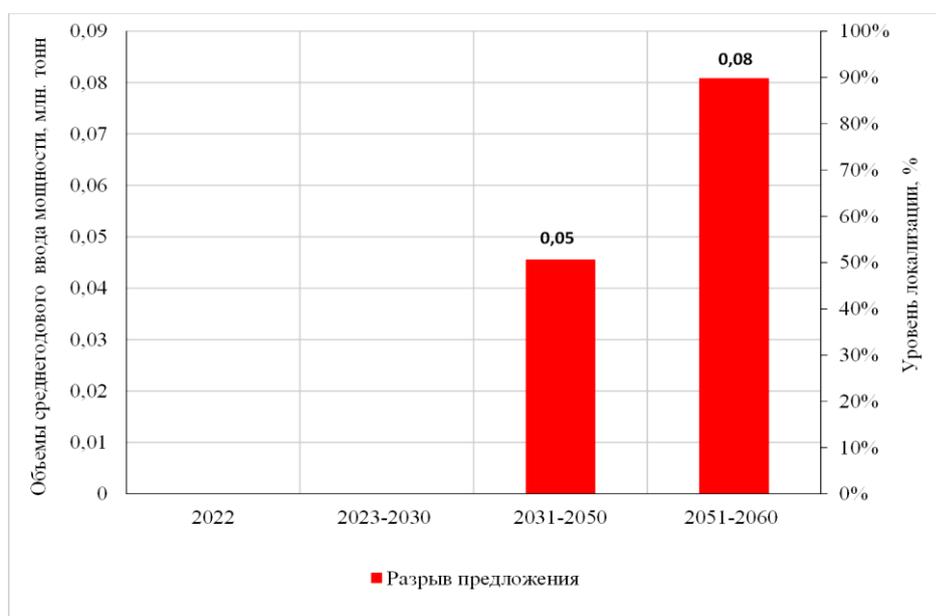
Рисунок 8.8 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: «голубой» аммиак с CCUS



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

Ни производства, ни планов по разворачиванию технологии «зеленого» аммиака с использованием водорода пока нет, поэтому разрыв предложения к 2060 году равен ожидаемым масштабам ежегодного ввода этой технологии (рис. 8.9).

Рисунок 8.9 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: «зеленый» аммиак с использованием водорода



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

8.4 Транспорт

Электромобили. Технологического разрыва по этой технологии в мире нет. В России собственных серийных моделей пока нет и уровень локализации не превышает 10%. Ожидается его постепенный рост до 50% к 2030 году и до 60-70% в последующие годы. Разрыв предложения оценивается в 100 тыс. в 2030 году. Он выходит на пик 400 тыс. и затем постепенно сокращается по мере насыщения парка. Со временем он может быть полностью покрыт за счет наращивания собственного производства (рис. 8.10). По оценкам правительства, в 2022 году в России было произведено (в основном собрано) порядка 2 тыс. электромобилей. В 2023 году планируется увеличить выпуск электромобилей в девять раз (примерно до 18 тыс. штук в год), а в 2024 году – до 36 тыс. в год.³¹¹ К 2030 году выпуск может вырасти до 140-160 тыс. (см. главу 6). Производство организуется на нескольких автозаводах.

Рисунок 8.10 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: электромобили



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

Электробусы. Технологического разрыва по этой технологии нет, но уровень локализации ограничен 25-40%. Разрыв предложения оценивается в 3 тыс. к 2030 году и 20 тыс. в 2040-х годах. Он может быть полностью покрыт за счет наращивания собственного производства (рис. 8.11). Ключевыми отечественными производителями электробусов сегодня являются ПАО «КамАЗ» и Группа «ГАЗ». Группа «ГАЗ» производит на заводе в Ликино низкопольные электробусы ЛиАЗ-6274 и ЛиАЗ-6274.20 «e-Citymax 18», а на Горьковском автомобильном заводе – целую линейку коммерческих электромобилей «Газель» e-NN (как в варианте минивэна, так и в варианте легкого грузовика), а также небольшой электробус «Газель» e-City.

³¹¹ <https://iz.ru/1467513/2023-02-09/proizvodstvo-elektromobilei-v-rf-planiruiut-uvelichit-v-deviat-raz-v-2023-godu>.

Рисунок 8.11 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: электробусы



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

Батареи. Технологического разрыва по этой технологии нет, уровень локализации – 95%. Проблема в доступности ресурсов лития. Разрыв предложения оценивается в 1,3 ГВт-ч к 2030 году и 15-20 гВт-ч в 2031-2050 годах с последующим сокращением. При своевременном разворачивании добычи лития в России он может быть полностью покрыт за счет наращивания собственного производства (рис. 8.12). Рост производства электромобилей будет способствовать увеличению спроса на аккумуляторы. «Росатом» строит завод по выпуску батарей для электрокаров в Калининграде мощностью 4 ГВт-ч в год.³¹² Для первой очереди мощность составит 50 тыс. аккумуляторов в год с планами по расширению до 120-130 тыс. батарей ежегодно. Завершить процесс локализации планируется к 2030 году. За 2023-2025 годы госкорпорация хочет продать внутри страны батареи суммарной ёмкостью 690 МВт-ч, а в 2030 году – уже 3,75 ГВт-ч, что эквивалентно 60-70 тыс. электромобилей.³¹³

Рисунок 8.12 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: батареи для электротранспорта



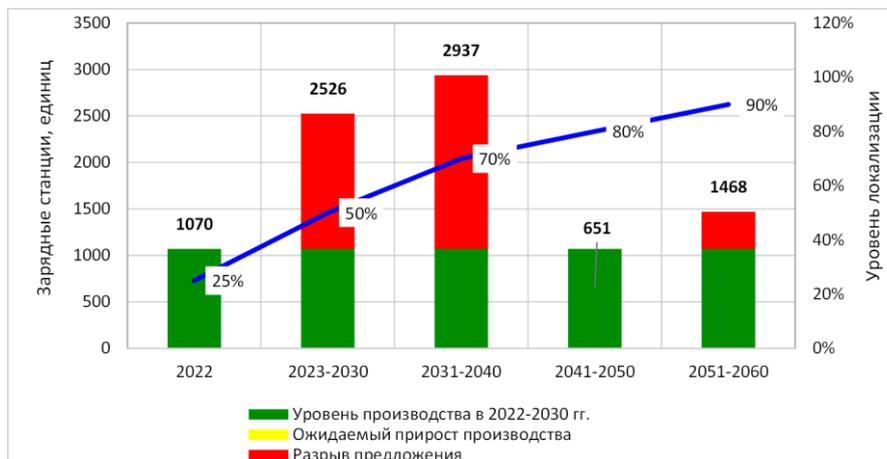
Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

³¹² <https://tass.ru/ekonomika/16590317>.

³¹³ <https://www.kommersant.ru/doc/5797242>.

Зарядные станции. Технологического разрыва по этой технологии нет, но уровень локализации не превышает 25%. Разрыв предложения оценивается в 2,5 тыс. станций в 2030 году. По мере насыщения он снижается до 400 к 2060 году (рис. 8.13).

Рисунок 8.13 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: зарядные станции



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

8.5 Здания

Тепловая изоляция. Технологического разрыва по этой технологии нет, уровень локализации близок к 100%. Разрыв предложения оценивается в 20-30 млн м³ после 2030 года. Он может быть полностью покрыт за счет наращивания собственного производства (рис. 8.14). В ближайшие годы ожидается запуск завода по производству тепловой изоляции мощностью 1,5 млн м³, что позволит нарастить внутреннее производство в 2022-2030 годах.

Рисунок 8.14 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: тепловая изоляция



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

АИТП и АУУ СО. Технологического разрыва по этой технологии нет. Ожидается, что уровень локализации повысится до 90% к 2030 году, а затем – до 100%. Разрыв

предложения – 2-5 тыс. единиц и может быть полностью покрыт за счет наращивания собственного производства (рис. 8.15). Сведений о планах строительства новых мощностей по выпуску АИТП и АУУ СО в открытом доступе нет. Однако до сих пор предложение успешно следовало за спросом.

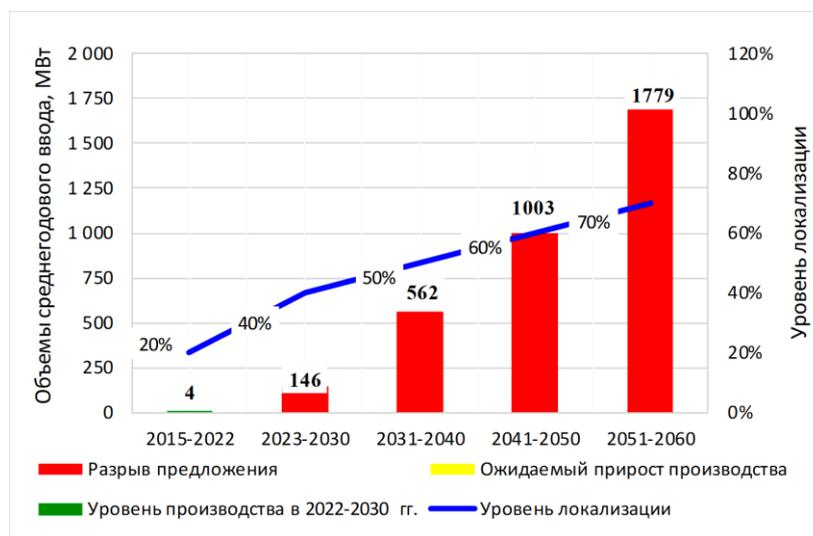
Рисунок 8.15 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: АИТП и АУУ СО



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

Солнечные подогреватели (коллекторы). Технологический разрыв по этой технологии есть – в России ее производство почти не освоено. Ожидается, что уровень локализации повысится до 40% к 2030 году, а затем – до 70%. Разрыв предложения к 2030 году составит 146 МВт; к 2060 году – 1800 МВт (рис. 8.16). Сведений о планах строительства мощностей на территории страны по выпуску солнечных водоподогревателей нет. Поэтому в перспективе можно ожидать рост спроса на эту технологию, который будет покрываться за счет роста импорта и внутреннего предложения.

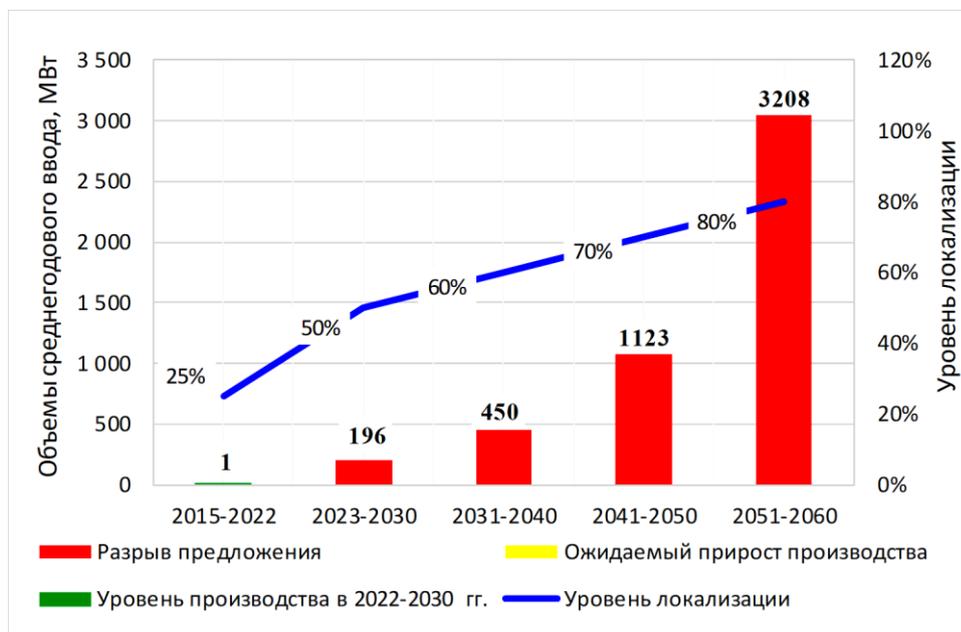
Рисунок 8.16 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: солнечные подогреватели



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

Тепловые насосы. Технологический разрыв по этой технологии есть – в России ее производство почти не освоено. Ожидается, что уровень локализации повысится до 50% к 2030 году, а затем – до 80%. Разрыв предложения к 2030 году составит 196 МВт; к 2060 году – 3200 МВт (рис. 8.17). Сведений о планах строительства мощностей на территории страны по выпуску тепловых насосов нет.

Рисунок 8.17 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: тепловые насосы

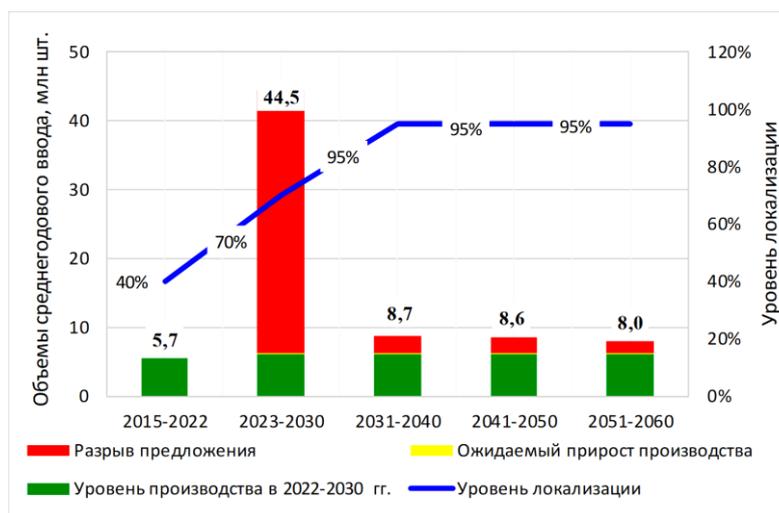


Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

«Умный» учёт. Технологического разрыва по этой технологии нет, в России налажено производство «умных» приборов учёта, но при сравнительно низком уровне локализации – 40%. Ожидается его повышение до 70% к 2030 году, а затем – до 95%. Разрыв предложения до 2030 года составляет более 40 млн единиц в год. После 2030 года он сокращается до 2-3 млн единиц и может быть полностью закрыт собственным производством (рис. 8.18). Большой разрыв предложения формируется до 2030 года из-за нормативных требований по оснащению ими всех потребителей в сжатые сроки. Основной разрыв предложения придется на период с 2023 по 2030 годы. В значительной степени он может быть покрыт за счет импорта при умеренном росте производства собственных «умных» приборов учёта электроэнергии. К 2025 году в Омске планируется запуск завода по выпуску «умных» приборов учёта электроэнергии в объеме 250 тыс. штук в год.³¹⁴

³¹⁴ <https://tass.ru/ekonomika/15240409>.

Рисунок 8.18 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: «умные» приборы учёта электроэнергии



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

Фотоэлектрические панели. Технологического разрыва по этой технологии нет, в России налажено их производство при уровне локализации 70%. Ожидается его повышение до 80% к 2030 году, а затем – до 95%. Разрыв предложения к 2060 годом – 3,8 ГВт. Непонятно, насколько он может быть покрыт собственным производством (рис. 8.19). «Хевел» в ближайшем будущем планирует запустить новый завод по производству фотоэлектрических модулей, которые частично будут востребованы для установки на зданиях.³¹⁵

Рисунок 8.19 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: ФЭП для децентрализованного электроснабжения зданий



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

³¹⁵ <https://neftegaz.ru/news/Alternative-energy/690993-v-kaliningradskoy-oblasti-nachalos-stroitelstvo-zavoda-po-vypusku-oborudovaniya-dlya-solnechnoy-ener/>.

8.6 Водород

Электролизеры. Технологический разрыв по этой технологии есть: в России их производство почти не освоено. Ожидается, что уровень локализации повысится до 20% к 2030 году, а затем и до 80%. Разрыв предложения составит 4 МВт в 2030 году и 37 МВт в 2060 году (рис. 8.20). В России активно создается собственное серийное производство электролизеров, как бесщелочных (на производственных мощностях компании «Поликом» в сотрудничестве с «Росатомом»), так и щелочных (строятся заводы в Хабаровске на базе АФК «Система» и в Калужской области при поддержке «Русгидро»). Разрыв предложения на первых порах будет покрываться за счет импорта, а затем будет повышаться доля внутреннего производства в его покрытии.

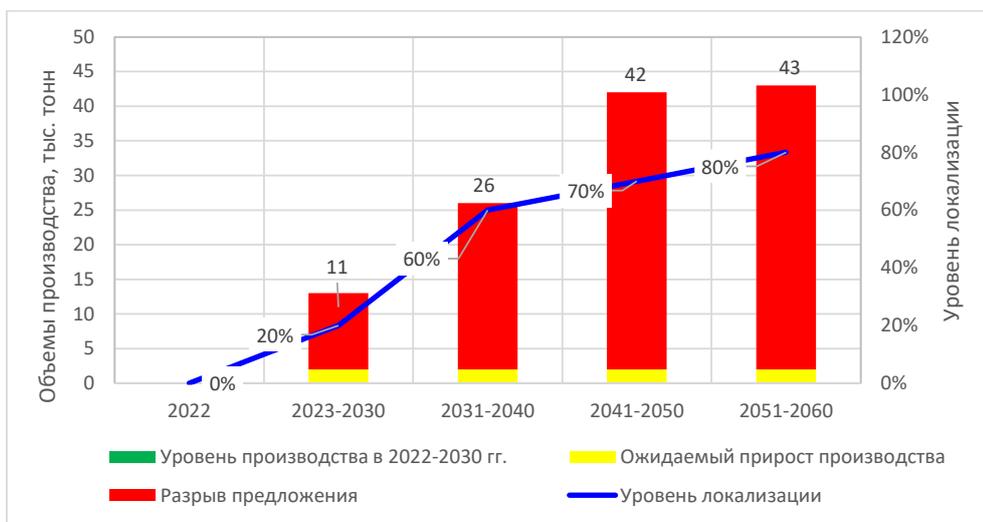
Рисунок 8.20 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: производство электролизеров для водорода



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

«Голубой» водород с CCUS. Технологический разрыв по этой технологии есть – в России ее производство почти не освоено. Ожидается, что уровень локализации повысится до 20% к 2030 году, а затем и до 80%. Разрыв предложения составит 6 тыс. т в 2030 году и 30 тыс. т в 2060 году (рис. 8.21). Прогнозы по развитию данной технологии представлены в Комплексной программе развития отрасли низкоуглеродной водородной энергетики в Российской Федерации до 2035 года, которая была утверждена Постановлением Правительства РФ от 08.02.2021 № 163. Ожидался ввод производства в Ленинградской области в 2023 году, в 2024-2027 годах в ЯНАО, в 2024-2027 годах в Красноярском крае, в 2024 году на Сахалине. По всей видимости, реализация этих планов сильно растянется во времени. Основной проблемой для повышения локализации является создание технологии CCUS.

Рисунок 8.21 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: производство «голубого» водорода с CCUS



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

«Зеленый» водород. Технологический разрыв по этой технологии есть, в России ее производство почти не освоено. Ожидается, что уровень локализации повысится до 40% к 2030 году, а затем и до 90%. Разрыв предложения составит 0,7 тыс. т в 2030 году и 15 тыс. т в 2060 году (рис. 8.22). В Атласе Минпромторга РФ по производству зеленого водорода представлено около 30 проектов в разных регионах России с вводом мощностей в 2023-2030 годах, включая ввод в 2023 году производства в Калининградской области (г. Светлый) с использованием электроэнергии ГЭС и ВЭС, в Крыму в 2023 году с использованием электроэнергии ВЭС, в Краснодарском крае в 2023 году с использованием электроэнергии СЭС и др.

Рисунок 8.22 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: производство «зеленого» водорода



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

8.7 CCUS

Технологический разрыв по этой технологии есть, в России ее производство не освоено. Есть только штучные маломасштабные пилотные проекты. Если объявленные намерения по развитию этой технологии будут реализованы (хотя вероятность невелика), то разрыва предложения в 2030 году не будет, к 2060 году он составит 1,2-1,4 МтСО₂ в год, а при неспособности реализовать объявленные проекты – 2,1-2,3 МтСО₂ в год (рис. 8.23). Оценки уровня локализации для этой технологии спекулятивны: ожидается его повышение до 40% к 2030 году, а затем и до 80%.

Рисунок 8.23 Среднегодовые вводы мощностей и источники их покрытия: CCUS



Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным глав 6 и 7.

8.8 Разрыв масштаба. Nothing-to-see view

Декаплинг³¹⁶ исчез. В России в последние годы наблюдается суперкаплинг: в 2020 и 2021 годах выбросы ПГ строго следовали за динамикой ВВП.³¹⁷ Экстенсивный экономический рост при низкой активности России в сфере декарбонизации и заметном ослаблении внимания к политике повышения энергоэффективности привел к тому, что прирост как суммарных нетто-выбросов ПГ, так и выбросов ПГ от сектора энергетика в 2021 году стал рекордным за весь период наблюдений с 1990 года.³¹⁸

В итоге применения низкоуглеродных технологий на фоне скорректированных оценок развития экономики России до 2060 года³¹⁹ сформированы траектории выбросов ПГ, обеспечивающие достижение Россией заявленной цели углеродной нейтральности к 2060 году. Исследования ЦЭНЭФ-XXI, проведенные в 2022-2023 годах,³²⁰ остаются единственными, в которых протестирована такая возможность с упором не на

³¹⁶ Разрыв связи экономического роста и выбросов ПГ называется декаплингом.

³¹⁷ Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990-2021 гг. М., 2023.

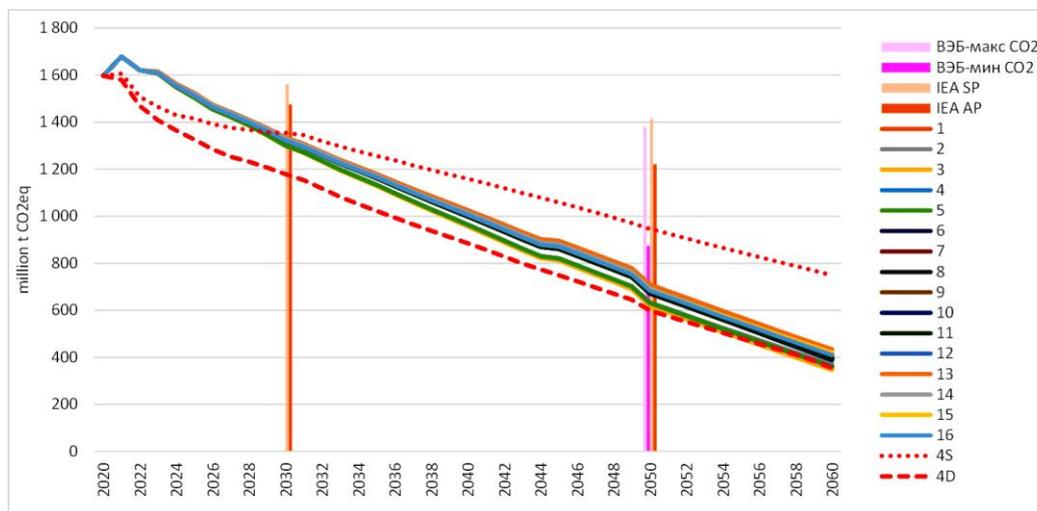
³¹⁸ Башмаков И.А. Внешняя торговля, экономический рост и декарбонизация в России. Долгосрочные перспективы. ЦЭНЭФ-XXI. Москва, апрель 2023 г. https://cenef-xxi.ru/uploads/RUS_Vneshnyaya_torgovlya_ekonomicheskij_rost_Perspektivy_463a2412c5.pdf.

³¹⁹ Там же.

³²⁰ Bashmakov I., V. Bashmakov, K. Borisov, M. Dzedzichek, A. Lunin, I. Govor. 2022. Russia's carbon neutrality: pathways to 2060. CENEF-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060>.

стратегию 2F (*Forest First*), а на сбалансированное по разным секторам внедрение низкоуглеродных технологий и практик.

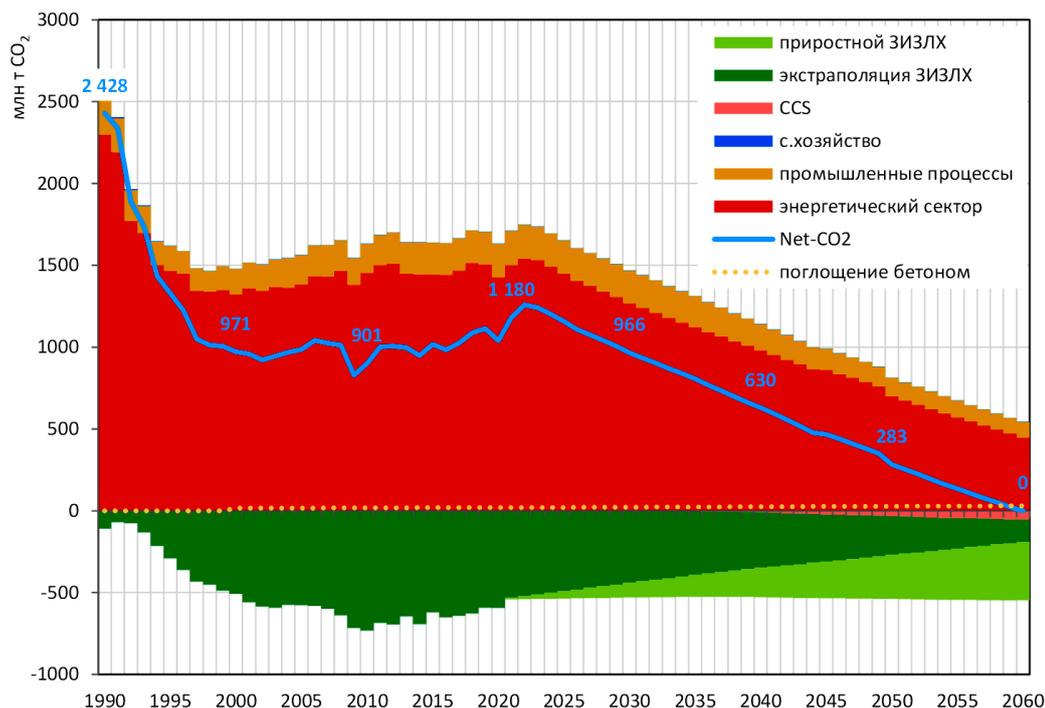
Рисунок 8.24 Динамика выбросов ПГ в секторе энергетика



Источник: Башмаков И.А. Внешняя торговля, экономический рост и декарбонизация в России. Долгосрочные перспективы. ЦЭНЭФ-XXI. Москва, апрель 2023 г. https://cenef-xi.ru/uploads/RUS_Vneshnyaya_torgovlya_ekonomicheskij_rost_Perspektivy_463a2412c5.pdf.

Оцененные в 2022 году траектории движения к углеродной нейтральности до 2060 года несколько изменились. Ограниченный в среднесрочной перспективе доступ к низкоуглеродным технологиям тормозит их внедрение и поддерживает выбросы ПГ на более высоком уровне. Тем не менее, достижение углеродной нейтральности к 2060 году все еще возможно даже без увеличения нетто-стоков в секторе ЗИЗЛХ (рис. 8.25). Однако ожидаемые кумулятивные выбросы от сектора энергетике в 2060 году превысят показатель сценария 4D (2022 год) примерно на 80 млн тCO₂. Это привело к тому, что схема с некоторым снижением нетто-стоков в секторе ЗИЗЛХ поменялась на схему с их стабилизацией. При дальнейшем снижении нетто-стоков будет необходимо еще более интенсивно внедрять низкоуглеродные технологии.

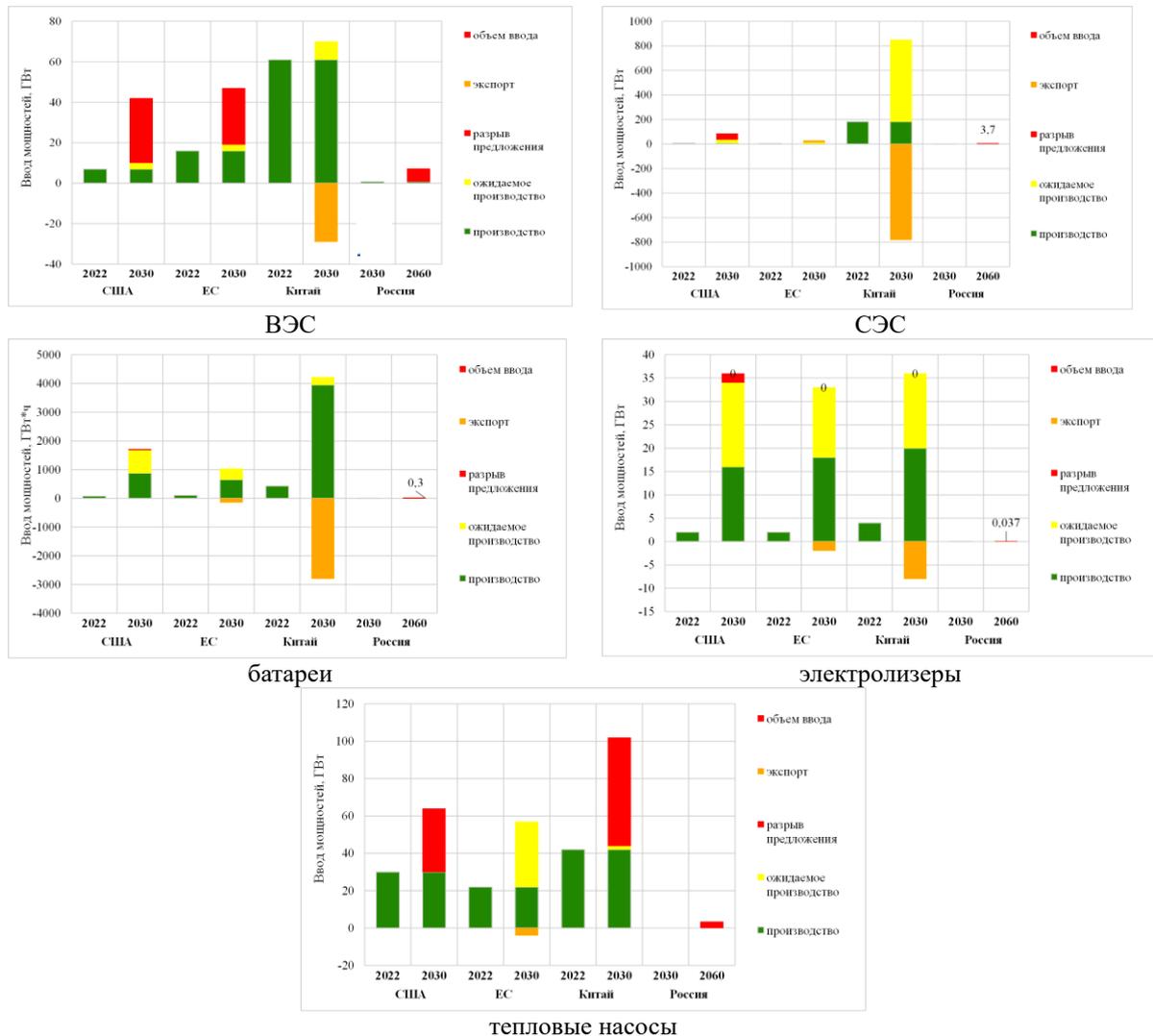
Nothing-to-see view: на фоне мировых лидеров масштабы использование и производства низкоуглеродных технологий в России крайне малы. В дополнение к оцененным выше трем разрывам можно увидеть еще разрыв масштаба российского рынка с другими национальными и региональными рынками. Кому-то могут показаться нереально большими описанные в главе 7 перспективы применения низкоуглеродных технологий в России, а также представленные в данной главе масштабы их производства.

Рисунок 8.25 Динамика выбросов и стоков CO₂ в сценарии 4D

Источник: ЦЭНЭФ-XXI.

Все познается в сравнении. Сравнение масштабов годового производства отдельных технологий в 2022 году и ожидаемые на 2030 год уровни показаны на рис. 8.26. Для того чтобы там разглядеть Россию, нужно острое зрение или сильное увеличительное стекло. Даже масштабы, оцененные для России на 2060 год, выглядят как лилипуты в стране гулливеров. Это определяет возможные пределы для задания целевых уровней локализации производства для отдельных технологий. В отличие от Китая с его огромным внутренним рынком, России просто может не хватать масштабов внутреннего рынка для получения эффекта экономии на масштабе и обеспечения конкурентоспособности новых технологий без экспансии на внешние рынки. Поэтому **политика полного технологического суверенитета – это тупиковый путь, чреватый непомерными издержками при отсутствии гарантии успеха.** Усилия СССР в этом направлении, предпринимавшиеся с начала 30-х годов XX века, не увенчались успехом.

Рисунок 8.26 Nothing-to-see view: годовые масштабы производства низкоуглеродных технологий в России на фоне мировых лидеров



Источники: ЦЭНЭФ-XXI и IEA. 2023. The State of Clean Technology Manufacturing. An Energy Technology Perspectives Special Briefing.

Разносторонняя и географически сбалансированная международная кооперация в сфере производства низкоуглеродных технологий – это устойчивая и эффективная стратегия для России, у которой масштабы рынка недостаточно велики. На мировых рынках низкоуглеродных технологий доминирует и еще долго будет доминировать Китай. В этом плане доступ к импорту таких технологий и их компонентов для России не закрыт. Вопрос в том, насколько Россия готова углублять технологическую зависимость от Китая и насколько существенными возможностями для ее преодоления она располагает или будет располагать. США и ЕС четко осознали сопряженные с зависимостью от Китая риски и предпринимают существенные усилия для их снижения за счет локализации и развития собственного производства при сохранении возможности широкой кооперации. Только в этом случае желтые и красные зоны на рисунках в данной главе не будут отражать цветовую кодировку, соответствующую цветам китайского флага.