3. Предиктивное обслуживание энергетического оборудования. Традиционно диагностика оборудования проводилась по плановому графику, что не исключало внезапных поломок между проверками и приводило к дорогостоящим аварийным ремонтам. ИИ-системы анализируют параметры оборудования круглосуточно, выявляя скрытые неисправности задолго до их проявления. Это позволяет проводить техническое обслуживание при первых признаках износа, продлевая срок службы генераторов, трансформаторов и линий электропередач, а также сокращая незапланированные простои и затраты на ремонт.

Искусственный интеллект – это не просто инструмент, а новая эпоха в развитии энергетической инфраструктуры. Однако успешное и широкомасштабное применение ИИ требует комплексного подхода: инвестиций в развитие технологий, создание надежных систем кибербезопасности, разработку образовательных программ и формирование адекватной нормативно-правовой базы.

Ожидаемые результаты от применения ИИ

Направление	Без ИИ	С ИИ
Прогнозирование спроса и генерации	Не справляются с колеблющимися моделями потребления	Высокоточные прогнозы, эффективная интеграция ВИЭ, снижение зависимости от ископаемого топлива
Оптимизация распределения электроэнергии	Неравномерное использование энергии, перегрузка в пиковые часы, износ оборудования	Перераспределение потребления, прогнозирование пиковых нагрузок, предотвращение скачков напряжения и сбоев
Предиктивное использование	Внезапные поломки, дорогостоящий аварийный ремонт	Постоянный анализ оборудования, выявление скрытых неисправностей, продление срока службы оборудования

Будущее энергетики неразрывно связано с дальнейшим развитием и интеграцией ИИ.

Литература

1. Аннагурбанов, Х. Применение искусственного интеллекта в управлении энергосистемами / Х. Аннагурбанов, С. А. Пионтковскаянный // Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-iskusstvennogo-intellekta-v-upravlenii-energosistemami/viewer (дата обращения: 02.04.2026).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ УЛАВЛИВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ CO_2 В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

К. С. Сыбатова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Г. А. Рудченко

Технологии улавливания и хранения CO_2 приобретают особую актуальность в условиях глобального климатического кризиса и перехода энергетической отрасли к углеродной нейтральности. Они позволяют существенно снизить выбросы парниковых газов от иско-

паемого топлива, обеспечивая устойчивое развитие без полного отказа от традиционных источников энергии. Энергетика производит около 40 % антропогенных выбросов CO_2 и указанные технологии позволяют улавливать до 90 % из них на ТЭС и промышленных объектах, обеспечивая возможность ограничения потепления до целевых значений 1,5–2 °С.

Ключевые слова: углекислый газ, улавливание CO_2, хранение CO_2, транспортировка CO_2.

В эпоху глобальных климатических изменений энергетическая отрасль сталкивается с критической задачей – сохранить надежность энергоснабжения, минимизируя воздействие на окружающую среду. Технологии улавливания и хранения углекислого газа (англ. Carbon capture and storage, или CCS) позволяют захватывать до 90 % углекислого газа (CO_2), выделяемого при сжигании ископаемого топлива на тепловых электростанциях, и надолго изолировать его в геологических формациях, предотвращая выбросы в атмосферу.

Улавливание и хранение углерода – это процесс прямого улавливания и отделения CO_2 от промышленных и энергетических источников. Его основная цель заключается в создании концентрированного потока CO_2 высокого давления, его транспортировке по трубопроводам или судами к месту хранения, изолируя его от попадания в атмосферу, тем самым уменьшая дальнейшее негативное воздействие избыточных парниковых газов.

На данный момент существует три пути для улавливания и хранения углерода в точечных источниках, т. е. на электростанциях: улавливание перед сжиганием, улавливание после сжигания и сжигание с обогащенным кислородом топливом. В каждом процессе используются различные методы для снижения количества выбросов CO_2, образующихся при сжигании ископаемого топлива, но при этом каждый из них должен включать три основных этапа: улавливание, транспортировка и хранение углерода [1].

Наиболее распространенным является улавливание углерода после сжигания. Его суть заключается в отделении двуокиси углерода от других компонентов дымового газа, выходящего из котла. Это становится возможным благодаря следующим основным способам:

1. Улавливание на основе растворителя: CO_2 сначала абсорбируется раствором амина, а затем происходит нагрев абсорбирующей жидкости или сброс давления в ней, вследствие чего углекислый газ высвобождается из этой жидкости. Далее происходит его сжатие и охлаждение для последующей транспортировки и хранения.

2. Улавливание на основе твердого сорбента: включает физическую или химическую адсорбцию газа на твердом материале, после чего твердый сорбент отделяется от CO_2 путем уменьшения давления или повышения температуры.

3. Улавливание мембранами CO_2: дымовой газ сначала охлаждается и сжимается, затем подается через мембраны, которые физически отделяют CO_2 от других составляющих дымового газа.

В системах улавливания до сжигания топливо реагирует с потоком, насыщенным воздухом или кислородом, образуя синтез-газ, из которого CO_2 удаляется с помощью тех же методов, как и при улавливании после сжигания. Происходит разделение смеси на газовый поток CO_2 и поток водорода.

Во время сжигания в кислородной среде сначала удаляется азот из воздуха, после чего остается практически чистый кислород. Именно он используется для сжигания топлива. В этом случае дымовой газ состоит в большинстве своем из водяного пара и углекислого газа, который удаляется теми же методами, что и в случае улавливания после сжигания.

Опираясь на исследования Министерства энергетики США, можно сделать вывод о том, что наиболее безопасными, устойчивыми и доступными местами хранения CO_2 являются угольные пласты, залежи нефти и природного газа, базальтовые образования, соляные образования и сланцы, а также глубинные водоносные горизонты [2].

В таблице представлены результаты расчетов технико-экономических показателей для сценария использования CO_2 техногенного происхождения, полученного путем улавливания, для закачки в нефтяные пласты. Данный подход позволяет повысить нефтеотдачу и обеспечить экологически безопасную утилизацию парниковых газов.

Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Значение
1. Объем добычи нефти в Республики Беларусь, млн т	1,9
2. Предполагаемый рост добычи нефти, млн т	0,304
3. Объем улавливания выбросов CO_2, млн т CO_2/год	1,0
4. Капиталовложения, млн у. е.	835,0
5. Чистый дисконтированный доход, млн у. е.	525,5
6. Внутренняя норма доходности, %	19,04
7. Простой срок окупаемости, лет	5,2
8. Динамический срок окупаемости, лет	7,2
9. Индекс доходности, о. е.	1,62
10. Коэффициент эффективности инвестиций, о. е.	0,163

Таким образом, закачка углекислого газа в нефтяные пласты позволяет утилизировать парниковые газы, повышает нефтеотдачу, обеспечивает рост добычи на уже действующих месторождениях.

Технология CCS будет актуальна до тех пор, пока все производство не станет безуглеродным. На сегодняшний день человечество не может полностью отказаться от выбросов CO_2, но с помощью разработки новых технологий может внести существенный вклад в сокращение выбросов углекислого газа. Данная технология позволяет использовать существующую энергетическую инфраструктуру с гораздо меньшим вредом для окружающей среды. Специалисты Международного энергетического агентства считают, что к 2050 г. доля углекислого газа, устраняемого с помощью технологии улавливания углерода, должна составлять одну пятую от общего объема снижения выбросов.

Литература

1. Технология улавливания и геологического хранения углерода // Helion-Ltd. – URL: https://helion-ltd.ru/tehnologiya-ulavlivaniya-igeologicheskogo-hraneniya-uglekislogo-gaza/ (дата обращения: 15.03.2026).
2. Best Avialable Technology // Association of European Businesses. – URL: https://aebrus.ru/upload/iblock/4ab/4ab6540c0371af467-e429ac892c68a30.pdf/ (дата обращения: 15.03.2026).