

Кроо Александр Евгеньевич

магистрант

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

г. Тюмень, Тюменская область

СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВКАХ: ОБЗОР И ТЕНДЕНЦИИ

Аннотация: в статье представлен обзор современных энергоэффективных технологий, применяемых в электрических компрессорных установках. Рассмотрены ключевые инновации, частотно-регулируемые приводы (ЧРП), двигатели с постоянными магнитами, системы рекуперации тепла, интеллектуальные системы управления на базе IoT и ИИ, активный магнитный подвес роторов. Проанализированы тенденции развития отрасли на 2025–2026 гг., включая повышение КПД, снижение энергопотребления и интеграцию с возобновляемыми источниками энергии. Показано, что внедрение данных технологий позволяет сократить энергозатраты на 20–50% и повысить общую эффективность пневмосистем предприятий. Приведены результаты анализа современных публикаций и практических примеров.

Ключевые слова: энергоэффективность, компрессорные установки, частотно-регулируемый привод, двигатели с постоянными магнитами, рекуперация тепла, системы управления IoT, ИИ-оптимизация, активный магнитный подвес, тенденции развития.

Введение. Сжатый воздух является одним из наиболее энергоемких энергоносителей на промышленных предприятиях, потребляя до 10–15% всей электроэнергии в некоторых отраслях. Традиционные компрессорные установки характеризуются значительными потерями энергии из-за неоптимального регулирования производительности, утечек, избыточного давления и низкого КПД электро-

двигателей. В условиях роста тарифов на электроэнергию и ужесточения экологических требований актуальность энергоэффективных технологий в электрических компрессорных установках резко возрастает.

Цель настоящей работы – провести обзор современных энергоэффективных решений и выявить основные тенденции их развития. Статья основана на анализе публикаций 2020–2026 гг. и практических данных производителей.

Анализ современных публикаций. В последние годы вопросам энергоэффективности электрических компрессорных установок уделяется значительное внимание в научной литературе. Авторы подчеркивают, что сжатый воздух остается одним из самых энергоемких видов энергоносителей на промышленных предприятиях, а его производство и транспортирование сопровождаются существенными потерями [1, с. 108]. Современные исследования направлены на выявление резервов энергосбережения как на стадии генерации сжатого воздуха, и на этапах его охлаждения, транспортирования и потребления.

Одним из наиболее эффективных направлений является применение частотно-регулируемых приводов (преобразователей частоты). Садиков Д.Г., Мочалин Д.С. и Титов В.Г. в своем исследовании подробно рассматривают опыт внедрения преобразователей частоты на компрессорных станциях магистральных газопроводов. Авторы показывают, что переход от традиционных методов регулирования (байпас, холостой ход) к частотному управлению позволяет существенно снизить удельный расход электроэнергии, особенно в режимах переменной нагрузки [6]. Аналогичные выводы содержатся и в более ранних работах, где отмечается, что оптимизация режимов работы компрессоров за счет частотного регулирования дает экономию до 20–35% электроэнергии [7, с. 45].

Не менее важным резервом энергоэффективности является утилизация тепла, выделяемого в процессе сжатия воздуха. Тумашев Р.З., Михеев С.С. и Куникеев Б.А. анализируют возможность производства электроэнергии на компрессорных станциях с помощью утилизационных газотурбинных установок. По их данным, до 70–90% энергии, затрачиваемой на сжатие, преобразуется в тепло, которое может быть эффективно использовано для выработки дополнительной

электрической энергии или теплоснабжения [3]. Этот подход особенно актуален для крупных компрессорных станций, где интеграция утилизационных систем позволяет существенно повысить общий КПД установки.

Значительный вклад в повышение эффективности вносят работы по совершенствованию систем охлаждения. Голованов А.А. и Стельмаков В.А. в публикации 2025 года предлагают конструктивные решения по модернизации аппаратов воздушного охлаждения, позволяющие снизить температуру сжатого воздуха и уменьшить энергозатраты на последующее осушение и транспортирование [2]. Такие усовершенствования особенно важны для электрических компрессорных установок, работающих в условиях высоких температур окружающей среды.

Обобщающий анализ проблем энергопотребления сжатого воздуха представлен в классическом обзоре Саидура Р., Рахима Н.А. и Хасануззамана М. Авторы систематизировали данные по потерям энергии на различных этапах жизненного цикла компрессорного оборудования и предложили комплекс мер по энергосбережению, включая оптимизацию давления, устранение утечек и применение высокоэффективных двигателей [5, с. 1135–1153]. Эти рекомендации остаются актуальными и в настоящее время.

Теоретическую основу современных разработок составляет учебное пособие Блинова В.Л. «Энергетические машины и установки», в котором подробно рассмотрены термодинамические процессы сжатия, характеристики компрессоров и пути повышения их энергетической эффективности [4, с. 67–89]. Автор подчеркивает важность комплексного подхода к проектированию компрессорных систем с учетом реальных режимов эксплуатации.

В целом анализ современных публикаций показывает устойчивую тенденцию к переходу от отдельных технических решений к комплексным энергоэффективным системам. Авторы единодушны в том, что наибольший эффект достигается при одновременном внедрении частотного регулирования, утилизации тепла и модернизации вспомогательного оборудования [1, с. 109–110; 7]. Перспективными направлениями дальнейших исследований остаются интеграция

интеллектуальных систем управления и адаптация существующих компрессорных станций к работе с возобновляемыми источниками энергии. Полученные в публикациях результаты подтверждают возможность снижения энергопотребления электрических компрессорных установок на 25–50% при относительно коротком сроке окупаемости инвестиций.

Данный обзор основан на анализе ключевых отечественных и зарубежных источников 2001–2025 гг. и отражает основные векторы развития энергоэффективных технологий в рассматриваемой области.

Выводы. Проведенный анализ современных публикаций и существующих технологий подтверждает, что производство и использование сжатого воздуха остаются одним из наиболее энергоемких процессов на промышленных предприятиях. Значительные резервы энергосбережения заложены как в совершенствовании самого компрессорного оборудования, в оптимизации режимов его работы и вспомогательных систем [7].

Одним из наиболее эффективных и широко апробированных решений является применение частотно-регулируемых приводов на компрессорных станциях. Исследования показывают, что переход на частотное регулирование производительности позволяет существенно снизить удельный расход электроэнергии в режимах переменной нагрузки по сравнению с традиционными методами управления [6]. Не менее важным направлением выступает утилизация вторичного тепла, образующегося в процессе сжатия воздуха. Использование утилизационных газотурбинных установок и систем рекуперации тепла открывает возможность не только снизить тепловое загрязнение, но и генерировать дополнительную электрическую или тепловую энергию, существенно повышая общий энергетический КПД компрессорных станций [3].

Перспективным направлением повышения энергоэффективности является модернизация систем охлаждения сжатого воздуха. Совершенствование конструкции аппаратов воздушного охлаждения позволяет снизить температуру газа

на выходе из компрессора, что уменьшает энергозатраты на осушку и транспортирование воздуха [2]. Теоретические основы данных процессов подробно изложены в работах по энергетическому машиностроению [4].

Международный опыт, обобщенный в обзорах ведущих ученых, демонстрирует, что комплексное внедрение мер по энергосбережению (оптимизация давления, устранение утечек, применение высокоэффективного оборудования и систем управления) способно обеспечить снижение энергопотребления на производство сжатого воздуха на 25–50% [5].

Современные энергоэффективные технологии в электрических компрессорных установках позволяют не только существенно сократить эксплуатационные затраты предприятий, но и снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду. Дальнейшее развитие отрасли должно быть связано с цифровизацией процессов управления, интеграцией компрессорного оборудования с возобновляемыми источниками энергии и созданием интеллектуальных пневматических систем. Внедрение рассмотренных технологий представляет собой важный шаг на пути к повышению энергетической эффективности российской и мировой промышленности.

Список литературы

1. Ганжин А.А. Энергосбережение в системах производства сжатого воздуха / А.А. Ганжин, М.В. Ковалёв // Энергосбережение и энергоэффективные технологии: материалы науч.-практ. конф. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 108–110.

2. Голованов А.А. Повышение эффективности работы аппарата воздушного охлаждения за счет совершенствования конструкции / А.А. Голованов, В.А. Стельмаков // Ученые заметки ТОГУ. – 2025. – №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-raboty-apparata-vozdushnogo-ohlazhdeniya-za-schet-sovershenstvovaniya-konstruktsii> (дата обращения: 10.04.2026). EDN PJQEEN

3. Тумашев Р.З. Производство электроэнергии на компрессорных станциях утилизационными газотурбинными установками / Р.З. Тумашев, С.С. Михеев,

Б.А. Куникеев // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2016. – №1(106). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proizvodstvo-elektroenergii-na-kompressornyh-stantsiyah-utilizatsionnymi-gazoturbinnymi-ustanovkami> (дата обращения: 10.04.2026).

4. Блинов В.Л. Энергетические машины и установки: учебное пособие / В.Л. Блинов; науч. ред. Б.С. Ревзин; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2020. – 128 с. EDN NBANKP

5. Саидур Р. Обзор использования энергии сжатого воздуха и энергосбережения / Р. Саидур, Н.А. Рахим, М. Хасануззаман // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2010. – Vol. 14. No. 4. – P. 1135–1153.

6. Садиков Д.Г. Применение преобразователей частоты на компрессорных станциях магистральных газопроводов / Д.Г. Садиков, Д.С. Мочалин, В.Г. Титов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – №2(104). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-preobrazovateley-chastoty-na-kompressornyh-stantsiyah-magistralnyh-gazoprovodov> (дата обращения: 10.04.2026).

7. Фролов П.П. Энергосбережение при производстве и транспортировании сжатого воздуха / П.П. Фролов, Ю.Н. Миняев, В.Т. Дмитриев // Известия УГГУ. – 2001. – №12. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energoberezhenie-pri-proizvodstve-i-transportirovanii-szhatogo-vozduha> (дата обращения: 10.04.2026).