

Повышение эффективности работы систем производства и распределения сжатого воздуха промышленных предприятий

Парамонов А. М., доктор техн. наук

Омский государственный технический университет

Рассмотрены методы повышения эффективности работы систем производства и распределения сжатого воздуха. Проанализированы результаты энергетических обследований систем воздухообеспечения промышленных предприятий. Предложены методы и способы снижения удельного расхода электроэнергии на выработку сжатого воздуха на компрессорных станциях, его потерь в системах производства и распределения, а также повышения производительности, экономичности и надежности работы компрессорных станций.

Ключевые слова: сжатый воздух, система воздухообеспечения, энергосбережение, компрессор, эффективность.

Современные технологические процессы промышленных предприятий обеспечиваются различными энергоносителями. Выбор рациональных энергоносителей определяется технологическими условиями, технико-экономическими показателями процессов производства продукции и условиями энергоснабжения.

Наряду с основными энергоносителями, такими, как котельно-печное топливо, тепловая и электрическая энергии, вода, во многих отраслях промышленности широко используется сжатый воздух. Этому способствуют его особые свойства: упругость, прозрачность, безвредность, огнебезопасность, неспособность к конденсации, быстрая передача давления и неограниченный запас атмосферного воздуха в природе. Однако производство сжатого воздуха характеризуется высокой стоимостью прежде всего из-за большого удельного расхода электроэнергии на привод компрессоров. На ряде промышленных предприятий расход электроэнергии на выработку сжатого воздуха достигает 20 – 30 % общего количества потребляемой электрической энергии. Поэтому в системах производства и распределения сжатого воздуха весьма актуальна задача энергосбережения, которое достигается путем повышения эффективности работы компрессоров, рационального использования сжатого воздуха пневмоприемниками и уменьшения его потерь при производстве и транспортировке потребителям.

Энергетические обследования показали, что на большинстве промышленных предприятий технологические схемы воздушных компрессорных станций имеют ряд существенных недостатков и не отвечают требованиям, предъявляемым к современным системам производства сжатого воздуха. Так, на всасывающих воздухопроводах, подающих ат-

мосферный воздух в компрессоры, воздушные фильтры или отсутствуют, или (при наличии) площадь их фильтрующей поверхности меньше расчетной, а применяемая фильтрующая насадка зачастую не имеет масляной пленки (сухая) и не способна задерживать механические примеси, содержащиеся в атмосферном воздухе. Повышенная запыленность всасываемого воздуха приводит к ускоренному износу компрессора и, как следствие, к снижению его производительности. Кроме того, при запыленном воздушном фильтре увеличиваются потери давления всасываемого атмосферного воздуха, а значит, понижается его давление во всасывающем патрубке компрессора. Это приводит к повышению степени сжатия компрессора, уменьшению его производительности и увеличению удельного расхода электроэнергии на выработку сжатого воздуха.

Как известно, для обеспечения эффективной работы воздушных компрессоров необходимо, чтобы гидравлическое сопротивление воздушных фильтров не превышало 245 Па. Для этого нужно своевременно осуществлять очистку воздушных фильтров от задержанных механических загрязнений. Рекомендуемый интервал очистки фильтров составляет 300 – 600 ч работы.

Установленные на компрессорной станции промежуточные и концевые воздухоохладители зачастую не обеспечивают необходимый по технологическому процессу производства сжатого воздуха температурный уровень его охлаждения. Анализ влияния режима охлаждения сжатого воздуха в промежуточных воздухоохладителях на энергетическую эффективность работы воздушных компрессоров показывает, что его недоохлаждение на каждые 10 °С приводит к снижению производи-

тельности центробежных компрессоров на 1 – 1,5 %, а повышение температуры воздуха на выходе из промежуточного воздухоохладителя поршневого компрессора на каждые 6 – 8 °С увеличивает расход электроэнергии на сжатие воздуха на 1 % из-за увеличения работы сжатия*. Вместе с этим вследствие существенного увеличения работы сжатия возникает перегрузка приводного электродвигателя компрессора, что вызывает преждевременный выход его из строя.

Повышенная температура сжатого воздуха на выходе из концевых воздухоохладителей (выше температуры точки росы) обуславливает снижение эффективности работы установленных после них влагомаслоотделителей. При этом основная часть влаги и масла находится в сжатом воздухе в парообразном состоянии, что значительно ухудшает его качество. При транспортировке сжатого воздуха к местам потребления его температура постепенно снижается, и в воздухопроводе начинается непрерывное выпадение влаги и масла. Выпадение влаги в подающем воздухопроводе и перед потребителями сжатого воздуха затрудняет работу пневмомеханизмов, снижает их производительность, а также вызывает необходимость частых вынужденных продувок воздухопроводов после длительных остановов работы пневмоприемников. Это повышает расход сжатого воздуха пневмоприемниками из-за увеличения непроизводительных его потерь и в итоге снижает производительность компрессорной станции. Осаждаясь на внутренних стенках воздухопроводов и трубопроводов, масло и вода могут стать причиной взрыва или пожара.

Превышение температуры сжатого воздуха на выходе из промежуточных и концевых воздухоохладителей зачастую достигает 40 – 60 °С (допустимо значение не более 10 – 15 °С). Причин несоблюдения режима охлаждения воздуха в промежуточных и концевых воздухоохладителях может быть несколько: неэффективная работа водоохлаждающих устройств оборотной системы водоснабжения воздушной компрессорной станции, высокая степень загрязнения трубок воздухоохладителей накипью и масляными отложениями и др.

При жесткой воде происходят процессы образования накипи на внутренних поверхностях трубок воздухоохладителя. Толщина ее слоя может достигать 10 мм, существенно

уменьшая проходное сечение трубок. Для предотвращения накипеобразования рекомендуется проводить магнитную обработку воды или использовать комплексоны (ингибиторы отложения минеральных солей), которые обеспечивают практически полное подавление процессов образования отложений малорастворимых солей на поверхности трубок воздухоохладителей. Последние следует регулярно очищать от накипи химическими, пневматическими или механическими способами.

Известно, что минимальная удельная работа сжатия, т.е. работа сжатия, отнесенная к 1 м³ вырабатываемого сжатого воздуха, достигается при условии оптимального охлаждения воздуха и одинаковой степени его сжатия по ступеням компрессора. Это имеет место при работе двухступенчатого компрессора низкого давления на номинальном абсолютном давлении 0,9 МПа. Реальное рабочее давление при работе воздушной компрессорной станции составляет 0,5 – 0,8 МПа, что приводит к нерациональному распределению давления по ступеням и различным степеням сжатия, вызывает увеличение удельной работы сжатия компрессора и повышает расход электроэнергии на выработку сжатого воздуха.

Наиболее выгодная степень повышения давления в первой ступени двухступенчатого компрессора с учетом недоохлаждения воздуха в промежуточном воздухоохладителе определяется по формуле [1]

$$\varepsilon_1 = \left[\varepsilon_k \left(\frac{T_x}{T_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]^{0,5},$$

где ε_k — общая степень сжатия компрессора; T_x и T_1 — температуры воздуха на выходе из промежуточного воздухоохладителя и на входе в первую ступень компрессора, К; n — показатель политропы сжатия.

Существующие концевые влагомаслоотделители, установленные после компрессоров, зачастую не соответствуют расчетным параметрам и вследствие этого не обеспечивают эффективное отделение влаги и масла из сжатого воздуха, так как температура сжатого воздуха в них выше температуры точки росы, и, как отмечалось, основная часть влаги и масла находится в парообразном состоянии, а это значительно снижает эффективность работы воздушной компрессорной станции.

* Рыбин А. И., Закиров Д. Г. Экономия электроэнергии при эксплуатации воздушных компрессорных установок. — М.: Энергоатомиздат, 1998.

Особенность процесса получения сжатого воздуха заключается в том, что производительность воздушных компрессоров зависит от плотности и давления всасываемого атмосферного воздуха. Повышение давления атмосферного воздуха на всасе компрессора является эффективным средством увеличения его производительности. Такое повышение можно осуществить путем снижения гидравлического сопротивления всасывающего тракта или наддува с помощью специально установленного вентилятора высокого давления или воздуходувки, имеющих одинаковую с компрессором производительность. В первом случае эффективность работы компрессора и его производительность повышаются, а во втором — эффективность работы компрессора остается прежней, так как установленный для наддува нагнетатель потребляет электроэнергию на работу сжатия. Повышение давления подаваемого в компрессор атмосферного воздуха осуществляется путем уменьшения сопротивления всасывающего воздухопровода (за счет увеличения поверхности воздушного фильтра, диаметра всасывающего трубопровода и уменьшения его длины).

Отмечаются сезонные изменения плотности атмосферного воздуха (летом на 15 – 17 % меньше, чем зимой). До поступления в компрессор атмосферный воздух может нагреваться от лучей солнца, соприкосновения с нагретыми клапанными коробками, стенками цилиндра компрессора, вследствие износа всасывающих клапанов, через которые часть сжатого воздуха от цилиндра при обратном движении поршня выталкивается во всасывающую трубу, а также от соприкосновения с горячими поверхностями паропроводов, печей и потоками теплого воздуха от электродвигателей. Температура поступающего в компрессор атмосферного воздуха значительно повышается, он расширяется, и плотность его значительно уменьшается. Это приводит к снижению производительности компрессора и увеличению удельного расхода электроэнергии на сжатие воздуха. Понижение температуры всасываемого атмосферного воздуха увеличивает его плотность, вследствие чего производительность компрессора повышается прямо пропорционально изменению абсолютной температуры всасываемого воздуха.

Энергетические обследования показали, что на некоторых промышленных предприятиях не учитывается влияние начальных параметров атмосферного воздуха (давления и температуры) на производительность и эконо-

мичность работы воздушных компрессорных станций. Так, в ряде случаев воздухозаборные устройства установлены на солнечной стороне компрессорной станции, имеет место снижение давления атмосферного воздуха на входе во всасывающий патрубок компрессора из-за несоответствия проходных сечений всасывающего трубопровода и воздушного фильтра расчетным значениям.

Существенным фактором, негативно влияющим на эффективность и надежность работы компрессорных станций, является неравномерное (неритмичное) потребление сжатого воздуха пневмоприемниками. Изменение его расхода достигает иногда 40 %. Для обеспечения надежности воздуходо снабжения и стабильной работы потребителей сжатого воздуха обслуживающий персонал компрессорной станции вынужден поддерживать повышенное давление сжатого воздуха в выходном нагнетательном воздухопроводе. Кроме того, частые циклы изменения режимов работы компрессорного оборудования приводят к преждевременному выходу из строя отдельных его узлов, на восстановление работоспособности которых затрачиваются значительные финансовые средства, материальные и трудовые ресурсы. В отдельных случаях целесообразно обеспечивать снабжение сжатым воздухом удаленных пневмоприемников от локальных компрессорных установок.

Основной характеристикой сжатого воздуха как энергоносителя является его способность выполнять заданную работу единицей его объема при рабочих параметрах. Это определяется зависимостью расхода сжатого воздуха от его плотности, которая в свою очередь зависит от его давления и температуры.

В современных условиях постоянного совершенствования производственных процессов на промышленных предприятиях структуру основных технологических пневмоприемников необходимо рассматривать как динамично развивающуюся. Следует учитывать следующие факторы: пуск новых агрегатов, модернизацию морально устаревшего оборудования, изменение расходов и режимов потребления сжатого воздуха. Они значительно влияют на эффективность работы систем производства и распределения сжатого воздуха. Подключение новых пневмоприемников к существующей системе воздуходо снабжения промышленного предприятия, как правило, происходит без комплексного учета влияния всех совокупных факторов и взаимосвязей на

выбор оптимального варианта, обеспечивающего эффективность и надежность работы систем производства и распределения сжатого воздуха в заданных технологических условиях эксплуатации.

Большинство промышленных предприятий имеет достаточно разветвленные наружные межцеховые воздухопроводы, проложенные зачастую без соблюдения правил их прокладки. Наличие повышенного количества влаги в сжатом воздухе является причиной выхода из строя воздухопроводов в осенний и весенний периоды из-за их замерзания после длительных остановов, а также в выходные и праздничные дни. Это приводит к срыву работы потребителей сжатого воздуха, а также к дополнительным затратам и потере энергоресурсов на отопление воздухопроводов.

Рациональные режимы получения сжатого воздуха достигаются при соответствии производительности компрессорной станции количеству потребляемого сжатого воздуха пневмоприемниками. Эксплуатация компрессорных установок, подающих потребителям сжатый воздух с давлением ниже номинального, приводит к снижению производительности пневмоприемников и соответственно к увеличению ими расхода сжатого воздуха для достижения заданной производительности. В ряде случаев сжатый воздух подается компрессорной станцией пневмоприемникам с давлением выше номинального, вследствие чего потери воздуха возрастают. Регулирование давления сжатого воздуха — эффективный способ экономии электроэнергии на его производство (в случае снижения давления

сжатого воздуха у пневмоприемника на 0,02 МПа его расход уменьшается на 3 %).

Для изменения количества вырабатываемого сжатого воздуха компрессорной станцией в течение смены или суток должны быть предусмотрены устройства и способы регулирования производительности компрессорных установок и в целом станции. Внедрение средств и методов автоматизации процессов выработки сжатого воздуха позволит точно выдерживать их параметры в системах производства и распределения.

Анализ результатов обследования систем производства и распределения сжатого воздуха на промышленных предприятиях свидетельствует о недостаточном уровне организации эффективного контроля и управления работой компрессорных установок. Компрессорные станции работают неэкономично из-за высоких удельных расходов электроэнергии на выработку сжатого воздуха. На большинстве компрессорных станций предприятий отсутствуют приборы учета количества вырабатываемого сжатого воздуха, что не позволяет эксплуатационному персоналу эффективно и качественно осуществлять технологический процесс его производства, проводить анализ технико-экономических показателей работы компрессорных установок и фактического удельного расхода электрической энергии на производство сжатого воздуха. Нередко отмечается недостаточный уровень профессиональной квалификации инженерно-технического и обслуживающего персонала.

amparamonov@mail.ru