

*В.С. Хилов, канд техн. наук, А.Я. Сухарев*  
(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

## **СОСТОЯНИЕ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КОМПРЕССОРА БУРОВОГО СТАНКА**

### **Введение**

В связи с постоянным подорожанием топливно-энергетических ресурсов и, как следствие, увеличением стоимости электрической энергии, все большее внимание уделяется разработке и внедрению энергосберегающих технологий в горнорудной промышленности.

На первом месте по энергоемкости в отечественной промышленности находится горнометаллургический комплекс, для которого данная проблема наиболее актуальна. При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом с применением буровзрывных работ одним из энергоемких является процесс очистки скважины от выбуренной мелочи.

### **Последние достижения**

До настоящего времени не уделялось достаточного внимания исследованию энергоемкости процесса очистки скважины при бурении и возможности ее снижения. Такие данные, полученные по результатам экспериментальных исследований, приведены в литературе [1]. Общее теоретическое описание процесса очистки скважины от выбуренной мелочи приведено в [2]. Оценка экономической целесообразности ограничения холостого хода приведено в [3].

Одной из основных причин нерационального расхода электроэнергии является невозможность ограничения холостого хода компрессорной установки. Это обусловлено возникновением динамических перегрузок в компрессоре при пуске, из-за чего ограничено число пусков до капитального ремонта и недопустимой потерей напряжения в питающей сети. Кроме этого отсутствует математическое описание процессов в винтовом компрессоре, пригодное для получения передаточной функции, что позволило бы учитывать взаимное влияние системы электроснабжения, приводного двигателя и компрессора при имитационном моделировании процесса пуска.

### **Цель исследования**

Целью данной статьи является анализ переходных процессов в системе электроснабжения, приводном двигателе и компрессоре, характеризующих пуск компрессора и обоснование необходимости применения частотно-управляемого пуска для обеспечения возможности отключения компрессора на время технологических перерывов и исключение непроизводительного расхода электроэнергии.

### **Результаты исследования**

Одним из возможных способов снижения энергоемкости процесса очистки скважины от выбуренной мелочи является исключение непроизводительного

расхода электроэнергии во время технологических перерывов. Для оценки возможных способов снижения энергопотребления и сравнения их эффективности произведем анализ факторов, приводящих к непроизводительному расходу электроэнергии.

Согласно методики, приведенной в [3], была выполнена предварительная оценка экономической целесообразности ограничения холостого хода компрессора. При этом использовались данные, предоставленные отделом главного энергетика Центрального горно-обогатительного комбината (ЦГОК) города Кривого Рога. Для количественной оценки экономической целесообразности было рассчитано критическое время остановки двигателя  $T_{кр}$ , которое составило 7,2 с. Для сравнения средняя длительность одной операции по наращиванию бурового става составляет 3–5 мин, а длительность переезда на место следующего бурения 7–10 мин (по данным ЦГОКа). Таким образом, при среднем количестве выбуриваемых за смену одним буровым станком скважин, равном 6, время непроизводительного расхода электроэнергии за смену составит 80 минут. Сравнивая критическое время остановки со временем межоперационных перерывов можно сделать вывод об экономической целесообразности отключения привода компрессора.

Привод компрессорной установки бурового станка СБШ – 250МН и предназначенного для его замены бурового станка СБСШ – 250Н осуществляется от нерегулируемого асинхронного двигателя мощностью 200 кВт. В связи с этим возможен только прямой пуск привода, из-за чего возникает значительный бросок тока и момента при пуске привода, что в свою очередь, приводит к значительным необоснованным потерям электроэнергии в элементах системы электроснабжения и динамическим перегрузкам в компрессоре и двигателе. Так же следует обратить внимание на то, что компрессорная установка бурового станка СБШ – 250МН (СБСШ – 250Н) оснащена винтовым компрессором, что обуславливает необходимость рассмотрения некоторых требований к работе привода, связанных с конструктивными особенностями винтовых компрессоров. В частности конструктивное исполнение предусматривает наличие воздушного зазора между ведущим и ведомым винтами компрессора, как в компрессорах сухого сжатия, так и в маслозаполненных компрессорах. Это достигается путем применения синхронизирующих шестерен [4].

При прямом пуске привода компрессора возникают значительные динамические перегрузки в механической части компрессора бурового станка – подшипниках и синхронизирующих шестернях, что приводит к выходу из строя компрессорной установки и ограничению числа пусков до капитального ремонта. В связи с этим пуск привода компрессора производится только в начале смены, после чего приводной двигатель и компрессор работают в непрерывном режиме. В том числе при заштыбовке долота, наращивании бурового става или при переезде на место следующего бурения.

После появления в начале 90-х годов электроприводов переменного тока на основе IGBT транзисторов и GTO тиристорных, которые позволяют создание достаточно надежных тиристорных и транзисторных преобразователей с приемлемыми массогабаритными показателями появилась возможность создания

компактных и надежных приводов по системе транзисторный(тиристорный) преобразователь – двигатель, позволяющих осуществление плавного пуска с частотным регулированием. На буровых станках нового поколения СБСШ – 250Н предусмотрены два таких транзисторных преобразователя на основе IGBT транзисторов для питания либо приводов хода, либо привода подачи бурового става и вращателя. Таким образом появилась возможность использования одного из установленных преобразователей для осуществления плавного пуска привода компрессора.

На данный момент в условиях ЦГОКа для ограничения потребляемой компрессорной установкой на холостом ходу мощности применяется дросселирование на всасывающем патрубке.

В установившемся режиме работы момент на валу приводного двигателя равен моменту сопротивления, следовательно, мощность на валу двигателя равна мощности компрессора. Это дает возможность утверждать, что энергия, потребляемая приводным двигателем, будет пропорциональна энергии, потребляемой компрессором в процессе работы. Выражение для мощности, потребляемой винтовым компрессором, согласно [5] имеет вид:

$$P_{\text{компр}} = 1,63 \cdot \frac{1}{3} \cdot \bar{V}_0 \cdot \bar{P}_B \cdot \left( \frac{\bar{P}_B}{P_H} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1, \quad (1)$$

где  $\bar{V}_0$  – теоретическая объемная производительность идеального компрессора, м<sup>3</sup>/мин;  $\bar{P}_B$  – среднее давление во всасывающем патрубке, Па;  $\sigma = \frac{\bar{P}_B}{P_H}$  – степень повышения давления (СПД);  $k$  – показатель адиабаты.

Теоретическая объемная производительность идеального компрессора определяется по выражению:

$$\bar{V}_0 = (F_1 + F_2) \cdot L \cdot Z_1 \cdot n_1, \quad (2)$$

где  $F_1, F_2$  – площадь торцового сечения винтовой впадины ведущего и ведомого ротора, соответственно, м<sup>2</sup>;  $L$  – длина винтовой части роторов, м;  $Z_1$  – число зубьев ведущего ротора;  $n_1$  – скорость вращения ведущего ротора, об/мин.

Таким образом, при нерегулируемом приводе можно добиться снижения энергопотребления путем дросселирования на всосе, что позволяет снизить  $\bar{P}_B$ , так как СПД для винтовых компрессоров является постоянной и зависит только от геометрических параметров. Данный способ снижения энергопотребления применяется на ЦГОКе и путем замеров установлено, что при этом достигается уменьшение потребляемой мощности до 1/3 от номинальной. Мощность при работе на холостом ходу расходуется не только на покрытие механических потерь в компрессоре и двигателе, но и на поддержание вакуума во всасывающем

патрубке. Очевидно, что хотя дросселирование является достаточно эффективным, есть все основания утверждать, что наибольшую эффективность даст отключение компрессора на время технологических перерывов.

Начиная с 2003 года на ЦГОКе происходит замена станков СБШ – 250МН на станки СБСШ – 250Н, в связи с чем изменились требования к уровню питающего напряжения на зажимах электродвигателей основных механизмов (хода, вращателя и подачи бурового става). Это обусловлено заменой приводных двигателей. На буровом станке СБШ – 250МН привод вышеуказанных механизмов осуществлялся двигателями постоянного тока по системе тиристорный преобразователь – двигатель, а на буровом станке СБСШ – 250Н привод их осуществляется от асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым (КЗ) ротором по системе транзисторный преобразователь (ШИП) – двигатель.

Следовательно, необходим способ пуска, обеспечивающий ограничение динамических нагрузок на компрессор и ограничение на допустимом уровне пусковой ток двигателя с целью уменьшения электрических нагрузок на двигатель и питающую сеть в процессе пуска. Последнее требование не столь актуально для бурового станка типа СБШ – 250МН, оснащенного преимущественно двигателями постоянного тока, но достаточно актуально для станков СБСШ – 250Н, основные привода которых (вращателя, подачи бурового става, хода) оснащены асинхронными двигателями. Для двигателей постоянного тока параллельного возбуждения момент на валу пропорционален току якоря, т.е.

$$M_{\text{дв}} = k\Phi I_{\text{я}} \quad (3)$$

Это обуславливает их меньшую чувствительность к колебаниям питающего напряжения, так как ток якоря пропорционален напряжению на якоре.

$$I_{\text{я}} = \frac{U_{\text{с}} - E_{\text{дв}}}{R_{\text{я}}} \quad (4)$$

Для асинхронного двигателя момент будет пропорционален квадрату питающего напряжения:

$$M = m\chi U_1^2 \chi R_2' / \omega \chi S \left[ \left( R_1 + R_2' / S \right)^2 + \left( X_1 + X_2' \right)^2 \right]. \quad (5)$$

Поэтому возникает необходимость поддержания на допустимом уровне отклонения питающего напряжения для исключения «опрокидывания» работающих двигателей и обеспечения возможности нормальных условий пуска.

Это объясняется тем, что для карьеров с большой протяженностью ЛЭП, от которых, как правило, получают питание, как мощные экскаваторы, так и буровые станки, оказывающиеся в силу технологических особенностей ведения горных работ наиболее удаленными потребителями. Это обуславливает сложность поддержания допустимого уровня напряжения на зажимах потребителей

бурового станка, особенно в пиковом режиме при пуске двигателя экскаватора, питающегося от общей с буровым станком ЛЭП, подключенного до бурового станка.

Так как по данным исследований [6] усредненный износ буровых станков составляет 80–100%, а для ГОКов Криворожского бассейна износ составляет до 100%, и требуется замена оборудования, то проблема поддержания уровня питающего напряжения и снижения пиковых нагрузок вызывающим потери напряжения является актуальной.

Для выбора способа пуска, обеспечивающего ограничение на допустимом уровне потери напряжения в питающей сети, которая по данным ЦГОКа в различных случаях составляла 12–15% в режиме пиковых нагрузок, и ограничения пускового момента двигателя на допустимом для компрессора уровне, проведем сравнительный анализ возможных способов пуска.

В условиях карьера существует несколько способов поддержания уровня питающего напряжения в распределительных сетях: увеличение сечения ЛЭП, осуществление глубокого ввода, применение на бортовых подстанциях трансформаторов с регулированием под нагрузкой, применение продольной и поперечной компенсации реактивной мощности. Это позволило бы частично решить поставленную задачу – обеспечить необходимый уровень напряжения на зажимах пускаемого двигателя и других потребителей бурового станка. Но при этом единственным способом, обеспечивающим плавный пуск с возможностью регулирования пускового тока и пускового момента (то есть решающим первую и вторую задачи) является частотно управляемый пуск привода компрессора.

### **Заключение**

Итак, в связи с неизбежной в скором времени заменой морально и физически изношенных буровых станков на большинстве ГОКов Украины неизбежно будут ужесточены требования к качеству питающего напряжения. В первую очередь из-за широкого внедрения электроприводов переменного тока (АД с КЗ ротором) вместо приводов постоянного тока из-за более высокой надежности, низкой стоимости изготовления и обслуживания и массогабаритных показателей, необходимо принятие мер по повышению качества питающего напряжения и повышению надежности и долговечности оборудования. Применительно к буровым станкам такой мерой является применение частотно-регулируемого пуска привода компрессора.

### **Список литературы**

1. Буткин В.Д. Проектирование режимных параметров автоматизированных станков шарошечного бурения. – М.: Недра, 1979.– 208 с.
2. Жуковский А.А., Нанкин Ю.А., Сушинский В.А. Привод и системы управления буровых станков для карьеров. – М.: Недра, 1990. – 233 с.
3. Розумний Ю.Т., ЗаїкаВ.Т., СтепаненкоЮ.В. Енергозбереження: Навч. посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2005. – 166 с.
4. Хлумский В. Ротационные компрессоры и вакуум-насосы. – М.: Машиностроение, 1971. – 128 с.

5. Андреев П.А. Винтовые компрессорные машины. – Л.: Судпромгиз, 1961. – 252 с.
6. Колосов В.А., Воловик В.П., Дядечкин Н.И. Современное состояние и перспективы развития предприятий по добыче и переработке железорудного и флюсового сырья в Украине //Горный журнал. – 2000, – № 6. – С.162-164.