

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОСНОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ  
ПРОБЛЕМ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ НЕРЕВЕРСИВНОЙ НАГРУЗКИ В ПОРШНЕВЫХ  
КОМПРЕССОРАХ**

**А.С. Сироткин**

Научный руководитель - профессор Л.А. Саруев

*Национальный исследовательский Томский Политехнический университет, г. Томск, Россия*

Нереверсивная нагрузка - нагрузка, возникающая в узле соединения крейцкопфа, пальца крейцкопфа и шатуна за счет того, что по причине внутренних или внешних факторов палец крейцкопфа и крейцкопф остаются на одной поверхности соприкосновения в течении длительного времени. В результате возникновения данной нагрузки неизбежны такие последствия как: износ поверхностей соприкосновения, деформация и разрушение самих деталей, а также выход из строя компрессора.

С целью предотвращения вышеизложенных последствий будут предложены и обоснованы решения по предотвращению возникновения нереверсивной нагрузки в поршневом компрессоре, а также будут предложены решения, которые помогут избавить детали от разрушения.

Рассмотрим два случая:

Случай, когда возникает нереверсивная нагрузка и последствия необратимы, то есть система не способна вернуться в исходное состояние самопроизвольно без вмешательства в процессе эксплуатации, на этапе ремонта или на этапе проектирования. Второй случай – система самопроизвольно восстанавливает повреждения.

Причины возникновения и решения:

- отказ нагнетательных клапанов со стороны крышки;
- отказ всасывающего клапана со стороны коленчатого вала.

1. Установка датчиков температуры на клапана всасывания и нагнетания. Принцип работы заключается в том, что каждый датчик настраивается на определенный диапазон рабочих температур, и при выходе показаний за пределы будет издаваться сигнал, который будет регистрироваться. Датчик, издавая сигнал, даст понять оператору, что клапан достиг порогового значения температуры и требуется приостановить работу компрессора, во избежание поломок других составных частей компрессора, ряда, или самого компрессора. Данное решение позволит избавиться от лишних затрат, а в хорошем случае и сохранить клапан в целостности пока он не достиг температуры, при которой возникнет пластическая деформация и разрушение.

Применение ультразвуковых датчиков на крышки клапанов. Датчик в одном корпусе содержит как излучатель, так и приёмник импульсов. Импульсные колебания, сформировавшиеся в излучателе, проходя через клапан и встретившие на своем пути в материале дефект, будут отражаться, рассеиваться и преломляться от его поверхности, следовательно, теряя свою энергию. Обратный импульс будет возвращаться на приёмник уже с меньшей энергией. Задается приёмнику определенный рабочий диапазон амплитуд и при выходе амплитуды за его пределы в момент приема отразившегося сигнала, обслуживающий персонал будет регистрировать сигнал и делать выводы о неисправности т.к. амплитуда меняется (клапан деформируется, теряет целостность, приобретает дефекты). Применяя данные датчики, также можем наблюдать наличие жидкости в компримируемом газе, т.к. происходит рассеяние ультразвуковой волны при её наличии.

***Неправильная установка или ремонт клапанов.***

Данная причина повлечет за собой неработоспособность клапана. Он будет полностью закрыт, и пластина клапана не будет иметь свободу движения в период открытия и закрытия либо, напротив, пластина будет иметь чрезмерную свободу движения. Поэтому в данном случае необходимо проверять компетентность обслуживающего персонала и качество устанавливаемых деталей. Стяжные болты и контргайки стяжных шпилек должны быть затянуты необходимым моментом. Если перетянут хотя бы один болт, то скорее всего остальные болты тоже перетянуты. Если сломан хотя бы один стакан клапана, то есть вероятность того, что остальные стаканы и болты клапанных крышек могут в скором времени отказать и должны быть заменены.

***Жидкость в цилиндре.***

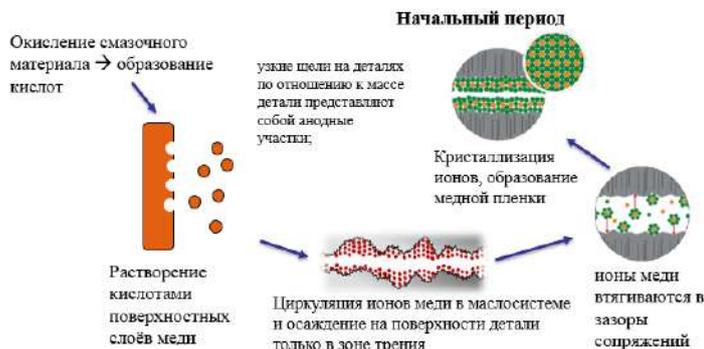
В процессе работы компрессора, а именно в процессе всасывания газа после сепарации и после прохождения его через аппарат воздушного охлаждения в цилиндр может пройти газ вместе с жидкостью. Жидкость может появиться в результате образования конденсата, когда имело место долгое взаимодействие с окружающей средой, а именно когда газ проходил от сепаратора после сжатия к аппарату воздушного охлаждения, а далее уже в камеру всасывания, либо при наличии высокой концентрации жидких углеводородов в составе газа. Попадая жидкость в цилиндр, приводит к гидроудару в силу того, что жидкость несжимаема и поршень в динамике ударяется о жидкость, т.к. не в силах сжать её. Поршень, встретившись на своем пути с жидкостью, взаимодействует с ней и в результате этого появляются силы, которые не являются полезными и не действуют благоприятно на работу поршневого компрессора. Появившиеся энергия никуда не исчезает и начинает воздействовать на механизмы. В данной ситуации необходимо чаще дренировать сепараторы и не дожидаться пока уровень достигнет значения, при котором автоматика сама произведет открытие дренажного клапана, либо, при возможности, настроить значение открытия клапана ниже по уровню; также необходимо пересмотреть уставки температур межступенчатого охлаждения газа. После каждой ступени сжатия газ отправляется на аппараты воздушного охлаждения и, возможно, чрезмерно охлаждается до температуры образования конденсата, который «пролетает» в сепараторе из-за большого количества либо из-за высокой скорости потока газа и попадает в цилиндр; Термоизоляция всасывающего трубопровода, а также трубопроводов до и после охлаждения также избавит компрессор от излишней жидкости в цилиндрах, которая образуется из-за перепадов температур газа и окружающей среды. Установка простейшего сетчатого фильтра перед самим

компрессором (идеально в ангаре) до входного сепаратора, в котором будет собираться жидкость, образованная за счет перепада температур, а также жидкость, идущая вместе с газом от источника.

- **Превышение нагрузки**
- **Использовании цилиндров малых диаметров**
- **Пониженной частоте вращения;**
- **Увеличенном мертвом пространстве со стороны крышки цилиндра.**

Названные четыре причины отмечены в силу того, что если компрессор работает с присутствием даже одной из них, то поверхности пальца крейцкопфа и самого крейцкопфа находятся относительно продолжительное время во взаимодействии, не перемещаясь на соседнюю, и именно из-за этого возникают проблемы. Поверхности двух деталей, которые являются опорными, будут испытывать чрезмерный нагрев и отсутствие обильной смазки. Также случай, когда нагрузка на поверхность будет превышена, то будут возникать высокие напряжения в зоне контакта. Конечно, возможно избежать этих причин применив технологические операции, например, уменьшить степень сжатия или отрегулировать «мертвое» пространство со стороны крышки цилиндра, тем самым уменьшить нагрузку на шток, также можем увеличить частоту вращения и перепускать газ с нагнетания обратно на всасывающий трубопровод, но эти все действия могут повлиять на технологический процесс. Эти причины являются не критическими, но вред оборудованию наносится однозначно.

В данной ситуации предлагается следующий вариант решения, когда возникает нереверсивная нагрузка и система способна самопроизвольно, посредством самоорганизующихся процессов, устранить возникшие повреждения на деталях, а конкретнее на поверхностях взаимодействия (трения). В данном случае речь пойдет о процессе избирательного переноса (эффект безызносности). Под эффектом безызносности подразумевается принцип, на основе которого уменьшаются силы трения и интенсивность изнашивания деталей. Между тем, в реальных условиях, можно достичь такого результата, когда поверхности трения не только не изнашиваются, но и могут восстанавливаться. Создаются условия восстановления изношенных машин без их разборки. Это требует проведения специальных технологий, когда в трении участвует две детали и между ними находится смазка, то условия контакта деталей меняются (рис 1). Здесь трущуюся пару можно рассматривать как термодинамическую систему, где возможен обмен поверхностями трения с внешней средой (смазкой) энергией и веществом и, следовательно, возможно образование новых структур на основе самоорганизующихся процессов.



**Рис. 1** Механизм образования серовитной пленки

После того как поверхности трения покроются пленкой меди, пара трения сталь-сталь становится парой медь-медь. Это приводит к снижению трения и, как результат, к снижению интенсивности окисления масло-металлической смеси и прекращению растворения медных материалов. В установившемся режиме трения медная пленка не изнашивается. Ее частицы могут переходить с одной поверхности трения на другую. Продукты износа пленки удерживаются в зазоре электрическими силами [1]. Но не все так хорошо, как хотелось бы. Необходимо создать условия для того, чтобы эти процессы протекали, и термодинамическая система функционировала.

Условия:

- разработка металлоплакирующих смазочных материалов с добавлением медной/оловянной/бронзовой крошки к ним;
- разработка материалов, содержащих металлоплакирующий состав, обеспечивающий в процессе трения формирование серовитной пленки;
- разработка конструктивных мероприятий (медные/оловянные/бронзовые вставки или специальные металлоплакирующие элементы в конструкцию узла трения), обеспечивающие образование серовитной пленки.

Также процесс избирательного переноса будет применим в том случае, когда реверсивная нагрузка будет обеспечиваться. Даже при нормальной работе происходит износ поверхностей трения, так как на данных поверхностях сосредотачиваются значительные нагрузки. Соответственно необходимо защитить эти поверхности. Это осуществиться как раз благодаря процессу избирательного переноса.

#### Литература

1. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность): Учебник. – 4-е изд., перераб. И доп. – М.: «Издательство МСХА», 2001. - 616с.;

2. Киселев В. В. Разработка металлосодержащих присадок к маслам, реализующих избирательный перенос при трении. – Автореф. дисс. на соискание уч. степ. канд. техн. наук, -Иваново, 2004. – 21с.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОГРУЗКИ КАЛИЙНОЙ РУДЫ ШНЕКАМИ КОМБАЙНОВ «УРАЛ-20Р»

А.Е. Суханов

Научный руководитель - ассистент А.Б. Максимов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
г. Пермь, Россия

Проходческо-очистной комбайн «Урал-20Р» является основным видом добычных машин на калийных рудниках Российской Федерации. Для погрузки отбитой горной массы и обработки почвы выработки в конструкции комбайна предусмотрены два однозаходных шнека, смонтированных на общей раме. Руда перемещается шнеками к разгрузочному окну скребкового конвейера, осуществляющего удаление горной массы из призабойного пространства и ее погрузку в средства дальнейшего транспортирования.

Процессы резания и перемещения руды сопровождаются ее циркуляцией и измельчением, что ведет к увеличению содержания мелких пылевидных фракций размером менее 0,25 мм в отбитой горной массе. Циркуляция обусловлена такими факторами, как трение руды о лопасти и ступицу, перебрасывание отбитой руды резцами и кулаками резцов через ступицу шнека. Согласно литературным источникам [4] содержание в перерабатываемой руде пылевидных частиц затрудняет работу обогатительных фабрик и влечет снижение прибыли горнодобывающих предприятий.

Эффективность работы шнеков определяется минимальным измельчением перемещаемой горной массы при обеспечении паспортных значений производительности комбайна. Повышение эффективности работы погрузочного оборудования является актуальной задачей, решение которой возможно путем обоснования рациональных параметров погрузочного оборудования комбайнов «Урал-20Р».

Транспортирование горной массы шнеками является сложным многофакторным процессом, характеризующимся существенным разбросом значений параметров, влияющих на его эффективность.

Для расчета производительности шнекового органа используется формула [3]:

$$Q_{\text{шн}} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \gamma n K_3 K_{\text{ц}}^{-1} \left( S - \frac{\delta N_3}{\cos \alpha} \right), \quad (1)$$

где  $Q_{\text{шн}}$  – производительность шнекового погрузчика, т/мин;  $D$  – диаметр шнека по лопасти, м;  $d$  – диаметр ступицы шнека, м;  $\alpha$  – угол подъема лопасти шнека, град.;  $S$  – шаг лопасти, м;  $\delta$  – толщина лопасти, м;  $N_3$  – количество заходов лопасти, шт.;  $n$  – частота вращения шнека, об/мин;  $K_3$  – коэффициент заполнения шнека;  $K_{\text{ц}}$  – коэффициент циркуляции руды в шнеке,  $\gamma$  – плотность калийной руды в насыпке, т/м<sup>3</sup>.

В соответствии с техническими характеристиками шнека и перемещаемого груза принимаем для расчетов следующие значения  $D = 0,68$  м;  $d = 0,4$  м;  $\alpha = 15,8^\circ$ ;  $S = 0,48$  м;  $\delta = 0,035$  м;  $N_3 = 1$  шт.;  $n = 40,5$  об/мин;  $\gamma = 1,35$  т/м<sup>3</sup>.

Авторами разработана схема заполнения поперечного сечения шнека комбайна для определения рационального значения коэффициента заполнения  $K_{3,\text{рац}}$  (рис. 1). Данное решение позволит обеспечить минимальные значения циркуляции руды.

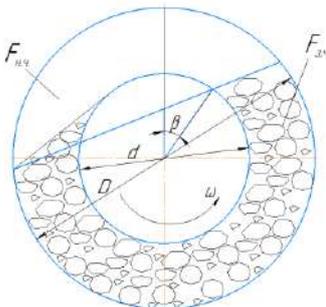


Рис. 1 Расчетная схема сечения шнека, принятая для определения рационального коэффициента заполнения

При построении схемы был учтен угол  $\beta$ , который зависит от коэффициента трения руды о поверхность шнека и от кинематических параметров шнекового погрузчика. Данный угол определяет границу, выше которой руда попадает на выположенную поверхность шнека и вследствие этого перебрасывается через ступицу [2]. При транспортировании калийной руды шнеками комбайнов «Урал-20Р» значение угла  $\beta = 35^\circ$ .

В соответствии с представленной расчетной схемой, рациональный коэффициент заполнения может быть представлен как: