

УДК 621.926.22

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛЬНЫХ МАШИН

Герике П.Б.¹, к.т.н., с.н.с. лаборатории средств механизации (am_besten@mail.ru)

Горяшин В.В.², к.т.н., начальник конструкторского отдела (vlgrsh@rambler.ru)

*Тагильцев-Галета К.В.³, к.т.н., научный сотрудник кафедры механики
и машиностроения (magister463@gmail.ru)*

¹Федеральный исследовательский центр угля и углекислоты СО РАН

(650991, Россия, Кемерово, пр. Советский, 18)

²ООО «СпецСвязьОборудование»

(654005, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, ул. Орджоникидзе, 28А)

³Сибирский государственный индустриальный университет

(654007, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. Разработан метод решения задачи классификации предохранительных устройств щековых дробильных машин, основанный на следующих классификационных признаках: принадлежность к подсистеме дробильной машины; восстанавливаемость предохранительного устройства после срабатывания; необходимые для настройки параметры. Разделение предохранительных устройств по подсистемам образует дополнительный уровень в иерархической структуре автоматизированной системы управления технологического процесса. На этом уровне расположены подсистемы, которые и осуществляют контроль работоспособности дробильной машины при значительном отклонении расчетных параметров от номинального значения, т.е. при возникновении аварийной ситуации. Разделение по восстанавливаемости, то есть по способности восстанавливать свои свойства после восстановления значения расчетного параметра, и параметрам предохранителей различных подсистем необходимо как для определения метода расчета предохранительных устройств, так и для учета их особенностей при вводе в эксплуатацию. Рассмотрены следующие параметры: сила, действующая со стороны щеки дробильной машины; давление, возникающее в гидросистеме предохранителя при воздействии со стороны щеки дробильной машины; момент, развиваемый приводом дробильной машины; для предохранителей электрической подсистемы – величина тока в приводе дробильной машины; температура двигателя дробильной машины, спектр частот потребляемого электродвигателем тока. Предложенная классификация повышает точность диагностики состояния дробильной машины: прямая оценка, являющаяся наиболее оперативной, – по изменениям параметров электрической подсистемы; косвенная оценка, являющаяся более точной, – по изменению выходных параметров дробилки в целом при постоянстве параметров электрической подсистемы. При совместном использовании прямой и косвенной оценок состояния дробильной машины повышается точность и оперативность управления дробильной машиной, что, соответственно, повышает надежность дробильного агрегата в целом.

Ключевые слова: дробильная машина, щековая дробилка, предохранительные устройства, классификация, разрушаемые предохранительные устройства, неразрушаемые предохранительные устройства.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-7-527-530

Практически во всех металлургических переделах (кроме прокатного) в качестве исходного продукта требуется измельченный материал, который получают при использовании дробильных машин. Также необходимо измельчать и некоторые продукты металлургической промышленности (шлаки, ферросплавы). Дробильные машины (в том числе и щековые) используются в составе дробильно-сортировочных комплексов, состоящих из питателей, предварительных грохотов дробильного отделения, грохотов для разделения фракций продукта дробления [1, 2]. Дробильно-сортировочный процесс является непрерывным, поэтому остановка одного элемента неизбежно приводит к остановке всего комплекса в результате срабатывания систем управления технологическим процессом. Такие системы имеют иерархическую структуру, низшим уровнем в которой является

контроль отдельного агрегата [3], в рассматриваемом случае – дробильной машины, состоящей из механической и электрической подсистем. Каждая из этих подсистем независимо осуществляет контроль работоспособности дробильной машины. Таким образом, образуется дополнительный уровень, отсутствующий в исходной иерархической структуре – «уровень подсистемы» (см. рисунок).

На этом уровне контроль работоспособности дробильной машины осуществляется предохранительными устройствами, которые активируются только при значительном (более 5 %) отклонении [4] расчетного параметра, то есть при возникновении аварийной ситуации.

В основу предложенной классификации предохранительных устройств дробильной машины положены следующие признаки:



Структура систем управления технологическим процессом работы дробильно-сортировочного комплекса

Control systems structure of technological process of crushing and sorting unit

1. принадлежность к подсистеме дробильной машины:

- механическая подсистема;
- электрическая подсистема;

2. восстанавливаемость предохранительного устройства после срабатывания, то есть его способность восстанавливать свои свойства после восстановления значения расчетного параметра [3]:

- разрушаемые предохранительные устройства;
- неразрушаемые предохранительные устройства;

3. параметр, используемый при настройке предохранителя:

– параметры предохранителей механической подсистемы:

- сила, действующая со стороны щеки дробильной машины;
- давление, возникающее в гидросистеме предохранителя при воздействии со стороны щеки дробильной машины;
- момент, развиваемый приводом дробильной машины;

– параметры предохранителей электрической подсистемы:

- величина тока в приводе дробильной машины;
- температура привода дробильной машины;
- спектр частот потребляемого электродвигателем тока.

Таким образом, защитные устройства классифицируются следующим образом.

Предохранительные устройства механической части дробильной машины

1. Предохранительные устройства, определяемые силой технологического сопротивления:

– разрушаемые предохранительные устройства, определяемые силой (распорные плиты), проектируются исходя из минимальной силы дробления, при которой происходит срабатывание предохранителя; для таких устройств превышение проектного значения силы ведет к их разрушению, при этом восстановление работоспособности дробильной машины занимает несколько часов [5];

– неразрушаемые предохранительные устройства, определяемые силой (пружинные предохранители), лишены недостатков распорных плит [6], однако при срабатывании такого предохранителя недробимое тело не покидает камеру дробления, а это может привести к ее переполнению, что также является аварийной ситуацией.

2. Предохранительные устройства, определяемые давлением (гидравлические предохранительные устройства), имеют в своем составе гидросистему, позволяющую изменять размер выходной щели [7, 8]. В настоящее время такие устройства являются наиболее распространенными и позволяют быстро восстанавливать работоспособность дробильной машины, они используются в большинстве дробильных машин [9, 10]. Однако реализация защитного устройства с использованием блока гидроцилиндров существенно увеличивает стоимость дробильной машины.

3. Предохранительные устройства, определяемые моментом:

– разрушаемые предохранительные устройства, определяемые моментом (муфты со срезными пальцами). Вычисление параметров таких устройств в ряде случаев значительно проще, чем у прочих предохранителей механической части дробильной машины. Так, например, для оценки момента, необходимого для срабатывания разрушаемого предохранительного устройства, используется умножение рабочего момента на фиксированный коэффициент [5]. Однако вследствие постоянного трения работа этих механизмов отличается значительной неопределенностью;

– неразрушаемые предохранительные устройства, определяемые моментом (фрикционные предохранители, грузовые предохранительные устройства). Характеристики фрикционных предохранительных устройств [11] и грузовых предохранительных устройств [12] незначительно меняются в процессе эксплуатации, однако эти предохранители обладают значительной трудо- и материалоемкостью при изготовлении.

– неразрушаемые предохранительные устройства, определяемые моментом (фрикционные предохранители, грузовые предохранительные устройства). Характеристики фрикционных предохранительных устройств [11] и грузовых предохранительных устройств [12] незначительно меняются в процессе эксплуатации, однако эти предохранители обладают значительной трудо- и материалоемкостью при изготовлении.

Предохранительные устройства электрической части дробильной машины

Предохранительные устройства электрической части дробильной машины предназначены для осуществления диагностики, но также могут осуществлять контроль ее работоспособности. Наибольшее распространение получили устройства, определяемые величиной тока, вследствие простоты конструкции и быстроты срабатывания.

1. Предохранительные устройства, определяемые величиной тока:

– разрушаемые устройства, определяемые величиной тока (плавкие предохранители), например, предохранители [13], которые позволяют предотвращать перегрузки электродвигателя величиной от 1,6 от номинала, причем, чем больше перегрузка, тем быстрее сработает предохранитель [14]. Такие устройства также позволяют осуществлять защиту от коротких замыканий, однако малоприменимы в промышленности вследствие значительных пусковых токов современных двигателей;

– неразрушаемые устройства, определяемые величиной тока (токовые реле, расцепители), например, токовые расцепители, которые позволяют предотвращать перегрузки электродвигателя в широком диапазоне токов без разрушения предохранительного устройства [15]. Такие устройства обязательны к установке на большинстве дробильных машин с электроприводом [16].

2. Неразрушаемые предохранительные устройства, определяемые температурой двигателя (термисторы), например, тепловые реле [17], которые позволяют оценить основную характеристику нагрузочных режимов – тепловую характеристику электродвигателя [18], осуществляя таким образом текущую диагностику привода. Однако вследствие значительной инерционности тепловых характеристик двигателя [19] восстановление работоспособности занимает значительное время.

3. Неразрушаемые предохранительные устройства, определяемые частотными характеристиками тока. Такие устройства являются перспективным и для исследований, так как позволяют проводить диагностику не только электрической части привода, но и его механических характеристик, например, несоосности вала двигателя и нагрузки или износа передаточного механизма [20]. Однако такие устройства существуют пока лишь в качестве лабораторных стендов.

Выводы. Разделение предохранительных устройств по подсистемам образует дополнительный уровень в структуре АСУ технологического процесса, с помощью которого осуществляется контроль работоспособности дробильной машины. В результате повышается точность диагностики состояния дробильной машины: прямая оценка – по изменениям параметров электрической подсистемы, косвенная оценка – по изменению выходных параметров дробилки в целом при постоянстве параметров электрической подсистемы.

Предложенная классификация предохранительных устройств дробильных машин основана на следующих признаках: принадлежность подсистеме (механическая, электрическая); восстанавливаемость; параметры, необходимые для настройки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Jack de la Vergne, *Hard Rock Miner's Handbook*. – Edmonton, Alberta, Canada: Stantec Consulting, 2008. – 330 p.
2. John Milne. *The Miner's Handbook*. – London: Crosby Lockwood and son, 1893. – 338 p.
3. ГОСТ 24.103 – 84. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Основные положения. Введ. 1985–07–01. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 4 с.
4. ГОСТ Р ИСО 5725-6 – 2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Использование значений точности на практике. Введ. 2002–04–23. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 51 с.
5. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
6. Никитин А.Г., Тагильцев-Галета К.В. Система аварийного управления дробильного агрегата // Изв. вуз. Черная металлургия. 2015. Т. 58. № 2. С. 140, 141.
7. Пат. 2043788 РФ. Щековая дробилка / А.А. Куликов, В.А. Дигтяренко; заявл. 30.09.1991; опубл. 20.09.1995. Бюл. № 7.
8. Пат. 9295991. Jaw crusher / Stefan Hartl, Paul Voithofer. Publ. 29.03.2016.
9. Sandvik. Jaw crushers. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mining.sandvik.com/en/products/equipment/crushing-and-screening/jaw-crushers> (Дата обращения: 20.02.2015 г.).
10. Telsmith. Jaw crushers. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://telsmith.com/products/crushing-equipment/jaw-crushers> (Дата обращения: 20.02.2015 г.).
11. Пат. 5542884 US. Mechanical overload protection device for machines, particularly jaw crushers / Bruno Gotz. Publ. 6.08.1996.
12. Пат. 2508941 РФ. Щековая дробилка / А.Г. Никитин, А.В. Витушкин, К.В. Тагильцев-Галета; заявл. 25.10.2012; опубл. 10.04.2014. Бюл. № 7.
13. Пат. 9515477. Overcurrent protection device, overcurrent protection method and nontransistorsy medium / Kazuhiko Ueda. Publ. 6.12.16.
14. Мусин А.М. Аварийные режимы работы асинхронных электродвигателей и способы их защиты. – М.: Колос, 1979. – 112 с.
15. ГОСТ Р 50345 – 2010 Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Автоматические выключатели для переменного тока. Введ. 2010–10–30. – М.: Стандартинформ, 2011. – 110 с.
16. Правила устройства электроустановок. (утв. приказом Минэнерго РФ от 8 июля 2002 г. № 204). – М.: Изд. НЦ ЭНАС, 2002. – 330 с.
17. Пат. 9514906. Temperature switch and fluid heating device. Daiju Suzuki, Naohisa Kamiyama, Hiroki Yoshioka, Atsushi Kawashima, Takeshi Satoh, Takeshi Ogasawara. Publ. 6.12.2016.
18. Кацман М.М. Электрические машины. – М.: Высшая школа, 2000. – 324 с.
19. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины и микромашин. – М.: Высшая школа, 2001. – 426 с.
20. Петухов В.С. Диагностика электродвигателей. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения // Новости электротехники. 2008. № 2. С. 57 – 59.

Поступила 27 января 2017 г.

CLASSIFICATION OF PROTECTION DEVICES OF JAW CRUSHERS

P.B. Gericke¹, V.V. Garyashin², K.V. Tagil'tsev-Galeta³

¹Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Kemerovo, Russia
²LLC "SpetsSvyazOborudovanie", Novokuznetsk, Russia
³Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. A method of classification of jaw crushers protection devices was developed, based on the following classification criteria: crushing machine subsystem, recoverability of the protection device after operation and necessary setting parameters. Separation of protection devices by subsystems forms an additional level in hierarchical structure of technological process automated control system. At this level, subsystems monitoring operability of crusher with significant deviance of calculated parameters from their nominal value, i.e. in emergency situation are located. Classification of protective devices based on restorability, that is, by ability to restore their properties after restoring of design parameter value, and on parameters of protective devices of various subsystems is necessary to determine the method of protective devices design. Their specific features are also to be taken into account during their implementation. The following parameters were considered: force acting from the crusher jaw side; pressure that occurs in hydraulic system of protective device exposed to the action of a crusher jaw; the moment developed by a crusher drive; current value in the drive of the crusher - for electrical subsystem protective devices; temperature of the crusher motor; frequency range of current consumed by electric motor. The proposed classification improves accuracy of crusher's condition diagnosis: in terms of direct evaluation, which is the most rapid, based on changes in electrical subsystem parameters; in terms of indirect evaluation, which is more accurate, based on change in crusher output parameters as a whole, with constant parameters of electrical subsystem. Joint use of direct and indirect evaluation of the crusher state increases accuracy and efficiency of crusher control, increasing accordingly reliability of crusher unit as a whole.

Keywords: crusher, jaw crusher, protection devices, classification, destructible protective devices, indestructible safety devices.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-7-527-530

REFERENCES

- De la Vergne Jack. *Hard Rock Miner's Handbook*. 5th ed. Edmonton, Alberta, Canada: Stantec Consulting Ltd., 2008, 330 p.
- John Milne. *The Miner's Handbook*. London: Crosby Lockwood and son, 1893, 338 p.
- GOST 24.103 – 84. *Edinaya sistema standartov avtomatizirovannykh sistem upravleniya. Avtomatizirovannye sistemy upravleniya. Osnovnye polozheniya. Vved. 1985-07-01* [GOST 24.103 – 84. Unified system of automated control systems. Automated control systems. Principle provisions. Introduction 1985-07-01]. Moscow: Izd-vo standartov, 1986, 4 p. (In Russ.).
- GOST R ISO 5725-6 – 2002. *Tochnost' (pravil'nost' i pretsizionnost') metodov i rezul'tatov izmerenii. Ispol'zovanie znachenii tochnosti na praktike. Vved. 2002-04-23* [GOST R ISO 5725-6 – 2002. Accuracy (correctness, precision) of methods and results of testing. Implementation of precision values. Introduction. 2002-04-23]. Moscow: Izd-vo standartov, 2002, 51 p. (In Russ.).
- Klushantsev B.V., Kosarev A.I., Muizemnek Yu.A. *Drobilki. Konstruktsiya, raschet, osobennosti ekspluatatsii* [Crushers. Scheme, design, operation specifics]. Moscow: Mashinostroenie, 1990, 320 p. (In Russ.).
- Nikitin A.G., Tagil'tsev-Galeta K.V. Emergency control system of crusher. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2015, vol. 58, no. 2, pp. 140–144. (In Russ.).
- Kulikov A.A., Digtyarenko V.A. *Shchekovaya drobilka* [Jaw crusher]. Patent RF no. 2043788. *Byulleten' izobretenii*. 1995, no. 7. (In Russ.).
- Stefan Hartl, Paul Voithofer. *The Standart – standardized crushing and screening plant GmbH, Au an der Donau (AT). Jaw crusher*. Patent no. 9295991 B2 US. Publ. 03.29.2016
- Sandvik. Jaw crushers*. Available at URL: <http://mining.sandvik.com/en/products/equipment/crushing-and-screening/jaw-crushers> (Accessed 22.02.2015).
- Telsmith. Jaw crushers*. Available at URL: <http://telsmith.com/products/crushing-equipment/jaw-crushers> (Accessed 22.02.2015).
- Bruno Gotz. *Mechanical overload protection device for machines, particularly jaw crushers*. Patent no. 5542884 US. Publ. 6.08.1996.
- Nikitin A.G., Vitushkin A.V., Tagil'tsev-Galeta K.V. *Shchekovaya drobilka* [Jaw crushers]. Patent RF no. 2508941. *Byulleten' izobretenii*. 2014, no. 7. (In Russ.).
- Kazuhiko Ueda. *Overcurrent protection device, overcurrent protection method and nontransistory medium*. Patent no. 9515477 B2 US. Publ. 6.12.16.
- Musin A.M. *Avariynye rezhimy raboty asinkhronnykh elektrodvigatelei i sposoby ikh zashchity* [Emergency modes of induction electric motors operation and ways of their protection]. Moscow: Kolos, 1979, 112 p. (In Russ.).
- GOST R 50345 – 2010 *Apparatura malogabaritnaya elektricheskaya. Avtomaticheskie vyklyuchateli dlya zashchity ot sverkh tokov bytovogo i analogichnogo naznacheniya. Chast' 1. Avtomaticheskie vyklyuchateli dlya peremennogo toka. Vved. 2010-10-30* [GOST R 50345 – 2010. Pocket electric equipment. Automatic switches for excess currents protection for household and similar purposes. Part 1. Alternating current automatic switches. Introduction. 2010-10-30]. Moscow: Standartinform, 2011, 110 p. (In Russ.).
- Pravila ustroystva elektroustanovok (utv. prikazom Minenergo RF ot 8 iyulya 2002 g. № 204)* [Electrical installation design rules (accepted by the order of the Ministry of energy of the Russian Federation of July 8, 2002, no. 204)]. Moscow: Izd. NTs ENAS, 2002, 330 p. (In Russ.).
- Daiju Suzuki, Naohisa Kamiyama, Hiroki Yoshioka, Atsushi Kawashima, Takeshi Satoh, Takeshi Ogasawara. *Temperature switch and fluid heating device*. Patent no. 9514906 B2 US. Publ. 6.12.2016.
- Katsman M.M. *Elektricheskie mashiny* [Electric machines]. Moscow: Vysshaya shkola, 2000, 324 p. (In Russ.).
- Bruskin D.E., Zorokhovich A.E., Khvostov V.S. *Elektricheskie mashiny i mikromashiny* [Electric machines and micro-machines]. Moscow: Vysshaya shkola, 2001, 426 p. (In Russ.).
- Petukhov V.S. Electric motors diagnosis. Spectral analysis of Park vectors moduli of current and voltage. *Novosti elektrotehniki*. 2008, no. 2, pp. 57–59. (In Russ.).

Information about the authors:

P.B. Gericke, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher of the Laboratory of Means of Mechanization (am_besten@mail.ru)

V.V. Garyashin, Cand. Sci. (Eng.), Head of Design Department (vlgrsh@rambler.ru)

K.V. Tagil'tsev-Galeta, Cand. Sci. (Eng.), Research Associate of the Chair of Mechanics and Mechanical Engineering (magister463@gmail.ru)

Received January 27, 2017