УДК 621.311-049.5:331.45

С.А. Жовтобрух

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Покровск

кафедра автоматики и телекоммуникаций

E-mail: sergey_zh@ukr.net

**ПОВЫШЕНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕССОВОМ ОБОРУДОВАНИИ
ОГНЕУПОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Рассмотрены условия обеспечения безопасности ведения технологических операций на прессовом оборудовании. Исследованы технологические составляющие полного цикла формования огнеупорного изделия. Проведена оценка относительной ошибки времени цикла по отклонению границ вариационного ряда временных параметров и математического ожидания от нормированного значения продолжительности цикла. Полученные результаты свидетельствуют о достоверности значения времени рабочего цикла прессы, полученного расчетным путем, его реальному значению. Определены наиболее травмоопасные места, с открытым доступом садчика к подвижным элементам прессы. Проведены исследования оценки возможных потерь напряжения питания в электрической сети 380 В для прессы СМ1085. Разработаны рекомендации по улучшению условий труда, которые позволяют определить фиксирование пиковых нагрузок, осуществление защиты садчика от попадания в рабочую зону прессы с учетом использования быстродействующих средств защиты и блокировок. Реальная электрическая сеть удовлетворяет требованиям, предъявляемым качеству питающего напряжения.

Ключевые слова: *электробезопасность, прессовое оборудование, огнеупорное производство, правила, методы, блокировка, напряжение, вероятность, норма*

DOI: 10.31474/2075-4272-2019-1-32-50-57

Общая постановка проблемы. Нормативными документами, регламентирующими электробезопасность на прессовом оборудовании огнеупорного производства, являются Правила безопасности в огнеупорном производстве [1] и Правила безопасной эксплуатации электроустановок потребителей [2]. Эти правила распространяются на все виды электрооборудования основных и вспомогательных технологических процессов при производстве огнеупорных изделий. В указанных документах установлены требования по безопасному обслуживанию, ремонту и наладке электрооборудования огнеупорных комбинатов.

Производство огнеупорных изделий полусухим способом из масс влажностью до 10% на огнеупорных комбинатах Донецкой области ведется, преимущественно, на прессах механического и гидростатического прессования [3]. Механические прессы осуществляют двустороннее формование огнеупора за счет вертикального перемещения рамы механизма прессования [4]. В механических коленно-рычажных прессах типа СМ1085 осуществляются процессы формования, выталкивания и выдачи отпрессованных изделий из рабочей зоны для последующего отбора их садчиком. Постоянная физическая нагрузка и монотонность операций садчика, необходимость ручной корректировки режимов работы прессы, являются предпосылками нарушения электробезопасности и травматизма на рабочем месте.

Для обеспечения безопасности ведения технологических операций садчиком необходимо повысить оперативность и точность измерительного контроля за усилием формования, качеством питающего напряжения и состоянием защит и блокировок на

электрооборудовании [5, 6].

Постановка задач исследования. Целью работы является повышение электробезопасности на прессовом оборудовании огнеупорного производства за счет усовершенствования существующей системы управления механических коленно-рычажных прессов, для улучшения условий труда и снижения вероятности уровня травматизма. Для достижения цели поставлена следующая задача:

– провести исследования отработки технологических операций механическим коленно-рычажным прессом СМ1085 при варьировании показателей качества питающего напряжения на электрооборудовании пресса, на основе которых разработать рекомендации по улучшению условий труда за счет оперативного контроля за состоянием защит и блокировок на прессовом электрооборудовании.

Результаты разработки и исследований.

К достоинствам коленно-рычажного пресса СМ1085 можно отнести: высокую производительность (2240 шт/ч); простоту и низкие затраты на обслуживание, постоянство габаритных параметров сырца.

Основными направлениями, связанными с модернизацией систем управления прессами типа СМ1085, являются: освобождение садчика от ручного управления фрикционной муфтой в системе привода; разработка автоматизированных систем управления с функцией автоматического дозирования огнеупорной массы и определения характеристик огнеупорной массы и сырца, автоматической защитой пресса от перегрузок. Предлагаемые разработки обладают следующими недостатками: необходимость внесения значительных изменений в конструкцию прессующего механизма и привода пресса, приводящие к сбоям в работе; решаемые задачи имеют локальный характер и не распространены на большинстве предприятий огнеупорной промышленности; неудобство наладочных и ремонтных работ, связанные с отсутствием унифицированных блоков. Однако, эти меры необходимы как для борьбы с браком сырца, так и с повышением уровня безопасности ведения работ на механических прессах [6].

Полный цикл формования огнеупорного изделия для пресса СМ1085 составляет: $t_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$, где t_1 , t_3 – технологические паузы, с; t_2 – формование сырца, с; t_4 – выдача сырца, с [7, 8]. За это время садчик отслеживает по измерительным приборам усилие формования, формируемое прессом, по эквивалентному значению $I_{\text{пр}} = 60$ А и управляет, при необходимости, положением нижнего пуансона (рис. 1).

Рисунок 1 – Токовая диаграмма отработки технологических циклов пресса СМ1085

Исследования и получение экспериментальных данных проводились на Часовоярском и Пантелеймоновском огнеупорных комбинатах (Донецкая область, Украина). Обработка эмпирических данных выполнялась для оценки относительной ошибки времени цикла $t_{\text{ц}}$ по отклонению границ вариационного ряда временных параметров и по отклонению математического ожидания вариационного ряда от нормированного значения продолжительности цикла (1).

$$\begin{aligned}\gamma_{\min} &= \frac{|t_{\text{ц}}^{\text{норм}} - t_{\text{ц}}|}{t_{\text{ц}}^{\text{норм}}} \cdot 100\%; \\ \gamma_{\max} &= \frac{|t_{\text{ц}} - t_{\text{ц}}^{\text{норм}}|}{t_{\text{ц}}^{\text{норм}}} \cdot 100\%; \\ \gamma_{\text{ср}} &= \frac{|t_{\text{ц}}^{\text{норм}} - t_{\text{ц.ср}}|}{t_{\text{ц}}^{\text{норм}}} \cdot 100\%\end{aligned}\quad (1)$$

где $\gamma_{\min}$ - погрешность минимального значения вариационного ряда; $\gamma_{\max}$ - погрешность максимального значения вариационного ряда; $\gamma_{\text{ср}}$ - погрешность математического ожидания вариационного ряда; $t_{\text{ц}}$ - значение времени цикла; $t_{\text{ц.ср}}$ - среднее время цикла по вариационному ряду; $t_{\text{ц}}^{\text{норм}}$ - нормированное значение продолжительности цикла.

Таблица 1 – Результаты обработки массивов случайных величин временных характеристик циклов функционирования прессы

Наименование параметра	Обозначение параметра в соответствии с рис. 1	Границы вариационного ряда, с	Статистические характеристики случайных величин			
			Математическое ожидание, с	Дисперсия	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
технологическая пауза	t_1	0,6..3,11	1,41	0,25	0,5	0,35
формование сырца	t_2	4,98..6,21	5,49	0,3	0,55	0,08
технологическая пауза	t_3	0,6..3,21	1,51	0,26	0,51	0,34
выдача единичного сырца	t_4	0,5..3,21	1,5	0,26	0,51	0,34

В соответствии с (1) и табл. 1 для прессы СМ1085, относительное отклонение математического ожидания $t_{\text{ц.ср}} = 9.91\text{с}$ времени рабочего цикла от его нормированного значения составляет $\gamma_{\text{ср}} = 0.9\%$. Для расчетного значения времени цикла $t_{\text{ц.р}} = 9.97\text{с}$ относительное отклонение от нормированного значения составляет $\gamma_{\text{ср}} = 0.3\%$. Отклонение расчетного значения времени цикла от полученного экспериментальным путем составляет $\gamma_{\text{ср}} = 0.6\%$. Полученные результаты свидетельствуют о достоверности значения времени рабочего цикла прессы СМ1085, полученного расчетным путем его реальному значению.

Время рабочего цикла определяется только параметрами электротехнического комплекса прессы СМ1085. То есть, при отклонении технологических параметров, определяющих качество формования сырца, в меньшую сторону от нормированных значений произойдет снижение производительности прессы. При их отклонении в большую сторону произойдет перегрузка прессы, что приведет к срабатыванию автоматических защит или поломке. Низкая чувствительность к изменению технологических параметров и функциональная ограниченность существующих систем управления прессами типа СМ1085

определяют фиксированный диапазон варьирования случайных величин t_1, t_2, t_3, t_4 времени функционирования прессы. Перевод существующих систем управления на элементную базу высокой степени интеграции позволит дополнительно контролировать и регулировать технологические параметры как прессы, так и всей формовочной линии. Такие системы имеют следящую структуру и при отклонении технологических параметров, определяющих качество формования сырца, режимов работы прессы, производят оперативную коррекцию параметров функционирования прессового оборудования для поддержания производительности и заданного уровня качества огнеупорного кирпича, снижают долю участия человека в процессе управления, следовательно, снижают вероятность нарушения электробезопасности и возникновения травматизма на рабочем месте.

Для контроля положения подвижных частей (верхний/нижний пуансоны, выдвижная каретка) использовались индуктивные датчики (Д) положения КВП-16 и КВД-25 (рис. 2). Для получения циклограммы работы прессы, сигналы с датчиков через блок сопряжения фиксировались многоканальным самопишущим прибором типа НЗ38-8П.

Рисунок 2 – Структурная схема экспериментальных исследований временных характеристик функционирования прессы СМ1085 (Д - индуктивные датчики положения)

Наиболее травмоопасные места, с открытым доступом садчика к подвижным элементам прессы, в местах установки датчиков указаны на рис. 2 штиховой линией. Для повышения безопасности персонала в данных контрольных точках необходимо дополнительно устанавливать оптические датчики инфракрасного диапазона, блокирующие работу прессы путем включения аварийного тормоза.

Доступ садчика к электрическим элементам привода СМ1085 ограничен. Однако, при изменении качественных характеристик питающего напряжения возможно изменение цикличности прессы. Питание коленно-рычажного прессы СМ1085 осуществляется от распределительной подстанции РУ-0.4 кВ, расположенной на расстоянии 120 м от прессы. В

качестве коммутационной аппаратуры для автоматического и дистанционного управления приводным асинхронным двигателем серии АОС используются магнитные пускатели ПМА550-2УХЛ4Б. Защита двигателя от коротких замыканий и перегрузок осуществляется автоматическим выключателем АЕ2066-100-00УЗБ (ток уставки 100А). Напряжение от подстанции подается посредством кабеля АСБ 3х95 до автоматического выключателя и гибким кабелем ГРШ 3х50 длиной 10 м до шкафа управления электротехническим комплексом коленно-рычажного пресса СМ1085.

В соответствии с методиками определения качества питающего напряжения [9] по справочным данным [10], проведены исследования оценки возможных потерь напряжения питания в электрической сети 380 В для пресса СМ1085. При этом определялись допустимые отклонения напряжения в установившемся режиме и по допустимому напряжению при пуске приводного двигателя.

Электрическая сеть соответствует требованиям по качеству напряжения, если:

$$\Delta U_{\phi} \leq \Delta U_{\text{д}}; U_{\text{п.ф.}} \geq U_{\text{п.д.}} \quad (2)$$

где ΔU_{ϕ} , $\Delta U_{\text{д}}$ – фактическая и допустимая потеря напряжения в сети, В; $U_{\text{п.ф.}}$, $U_{\text{п.д.}}$ – фактическое и допустимое напряжение на зажимах приводного двигателя при пуске, В.

Установлено, что допустимые потери напряжения в сети 380 В в установившемся режиме составляют $\Delta U_{\text{д}} = 39$ В; потери напряжения в силовом кабеле $\Delta U_{\text{к}} = 8,1$ В; фактические потери напряжения в сети – $\Delta U_{\phi} = 16,23$ В.

Расчетным путем определено, что при пуске приводного двигателя допустимые и фактические потери напряжения составляют: $U_{\text{п.ф.}} = 315$ В, $U_{\text{п.д.}} = 304$ В. Полученные результаты удовлетворяют условию (2).

Погрешность вычислений допустимых потерь напряжения в установившемся режиме работы пресса СМ1085 в сравнении с допустимым изменением напряжения по ДСТУ 1309-91 ($\Delta U_{\text{утв}} = \pm 38$ В) составляет:

$$\gamma_u = \frac{39 \text{ В} - 38 \text{ В}}{38 \text{ В}} \cdot 100\% = 2.63\%$$

Таким образом, в результате выполненных исследований работы пресса СМ1085, при варьировании показателей качества питающего напряжения, разработаны рекомендации по улучшению условий труда, которые позволяют фиксирование пиковых нагрузок, осуществление защиты садчика от попадания в рабочую зону пресса с учетом использования быстродействующих средств защиты и блокировок. Реальная электрическая сеть удовлетворяет требованиям, предъявляемым качеству питающего напряжения. Полученное значение γ_u является удовлетворительным результатом для проведенных исследований влияния качества питающего напряжения на качество формования сырца. При этом цикличность работы пресса не будет нарушена.

Выводы.

1. Проведены исследования полного цикла формования огнеупорного изделия для пресса СМ1085. Отклонение расчетного значения времени полного рабочего цикла от полученного экспериментальным путем, составляет $\gamma_{\text{ср}} = 0.6\%$. Для повышения безопасности персонала в наиболее травмоопасных местах предложено дополнительно устанавливать оптические датчики инфракрасного диапазона, блокирующие работу пресса путем включения аварийного тормоза.

2. При изменении качественных характеристик питающего напряжения возможно изменение цикличности пресса, что может привести к нарушениям ПБ садчиком.

3. Проведен анализ системы электроснабжения пресса СМ1085. Зафиксировано, что электрическая сеть удовлетворяет требованиям, предъявляемым качеству питающего напряжения. Потери напряжения лежат в допустимых нормах. Внештатные ситуации, связанные с нарушением работы системы электроснабжения будут блокироваться штатными элементами автоматической защиты.

Список использованной литературы

1. ДНАОП – Законодавча база [Електронний ресурс]: ДНАОП 1.2.10-1.08-97 (НПАОП 26.26-1.08-97) Правила безопасности в огнеупорном производстве. – Режим доступа: <https://dnaop.com/html/43805/doc-dnaop-1210-108-97-npaop-2626-108-97-pravila-bezopasnosti-v-ogneupornom-proizvodstve>. – Название с экрана.
2. ДНАОП – Законодавча база [Електронний ресурс]: ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – Режим доступа: https://dnaop.com/html/33105/doc-ДНАОП_0.00-1.21-98. – Название с экрана.
3. Байсоголов, В.Г. Механическое и транспортное оборудование заводов огнеупорной промышленности / В.Г. Байсоголов– М.: "Металлургия", 1981. – 296 с.
4. Попильский, Р.Я. Прессование порошковых керамических масс/ Р.Я. Попильский, Ю.Е. Пивинский. – М.: Metallurgy, 1983. – 176 с.
5. Технический контроль производства огнеупоров: учебник для техникумов / К.К. Стрелов, А.Д. Кашеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallurgy, 1986. – 240 с.
6. Жовтобрух, С.А. Анализ технологических показателей качества при производстве шамотного огнеупора полусухим формованием / С.А. Жовтобрух, Г.В. Серезентинов // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых. Сборник научных трудов 3-й Международной научно-технической конференции аспирантов и студентов. – Донецк: ДонНТУ, 2003. - С. 118 – 122.
7. Серезентинов, Г.В. Моделирование одномассовой электромеханической системы коленно-рычажного пресса / Г.В. Серезентинов, С.А. Жовтобрух // Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць IV Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 11-14 травня 2004р. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – С. 427 - 431.
8. Жовтобрух С.А. Анализ динамических процессов в электромеханическом комплексе пресса СМ1085 при формовании огнеупора / С.А. Жовтобрух, К.Н. Маренич //Труды Луганского отделения Международной Академии информатизации – Луганск, 2009. №18. - С. 28 – 33.
9. Руководство по ревизии, наладке и испытанию подземных электроустановок шахт / Под редакцией В.В. Дегтярева, Л.В. Седакова. – М.: Недра, 1989. – 614 с.
10. Справочник по взрывозащищенному электрооборудованию / Под ред. А.И. Пархоменко. – К.: Техника, 1990. – 198 с.

References

1. DNAOP. DNAOP 1.2.10-1.08-97 (NPAOP 26.26-1.08-97) *Pravila bezopasnosti v ognepurnom proizvodstve* [Safety Rules for Refractory Manufacturing]. – Electronic Resources: finding resources by subject [online], Retrieved from: <https://dnaop.com/html/43805/doc-dnaop-1210-108-97-npaop-2626-108-97-pravila-bezopasnosti-v-ogneupornom-proizvodstve> (Accessed 07 October 2019).
2. DNAOP. DNAOP 0.00-1.21-98 *Pravyla bezpechnoyi ekspluatacii elektroustanovok spozhivachiv* [Rules for safe operation of consumer electrical installations]. – Electronic Resources: finding resources by subject [online], Retrieved from:

- https://dnaop.com/html/33105/doc-ДНАОП_0.00-1.21-98 (Accessed 07 October 2019).
3. Baysogolov V.G. (1981). *Mekhanicheskoye i transportnoye oborudovaniye zavodov ogneupornoy promyshlennosti* [Mechanical and transport equipment of refractory industry plants], Metallurgy, Moscow, Russian Federation.
 4. Popil'skiy R.YA., Pivinskiy YU.Ye. (1983). *Pressovaniye poroshkovykh keramicheskikh mass* [Pressing ceramic powder], Metallurgy, Moscow, Russian Federation.
 5. Strelov K.K., Kashcheyev A.D. (1986). *Tekhnicheskij kontrol' proizvodstva ogneuporov* [Technical control of the production of refractories], Metallurgy, Moscow, Russian Federation.
 6. Zhovtobruk S.A., Serezentinov G.V. (2003). *Analiz tekhnologicheskikh pokazateley kachestva pri proizvodstve shamotnogo ogneupora polusukhim formovaniyem* [Analysis of technological quality indicators in the production of fireclay refractory by semi-dry molding], Plenum Publishing, DonNTU, Donetsk, Ukraine.
 7. Serezentynov H.V., Zhovtobruk S.A. (2004). *Modelirovaniye odnomassovoy élektromekhanicheskoy systemy kolenno-rychazhnogo pressa* [Modeling of a single-mass electromechanical system of a knee-lever press], Plenum Publishing, DonNTU, Donetsk, Ukraine.
 8. Zhovtobruk S.A., Marenich K.N. (2009). *Analiz dinamicheskikh protsessov v elektromekhanicheskom komplekse pressa CM1085 pri formovanii ogneupora* [Analysis of dynamic processes in the electromechanical complex of the CM1085 press during molding of refractories], Plenum Publishing, Lugansk branch of the International Academy of Informatization, Lugansk, Ukraine.
 9. Degtyarev V.V. etc (1989). *Rukovodstvo po revizii, naladke i ispytaniyu podzemnykh elektroustanovok shakht* [Guidance on the revision, commissioning and testing of underground electrical installations of mines], Nedra, Moscow, Russian Federation.
 10. Parkhomenko A.I. etc (1990). *Spravochnik po vzryvozashchishchennomu elektrooborudovaniyu* [Handbook of explosion-proof electrical equipment], Technique, Kyiv, Ukraine.

С.А. Жовтобрук

ДВНЗ «Донецкий национальный технический университет»

Підвищення електробезпеки пресового обладнання при виробництві вогнетривів.

Розглянуто умови забезпечення безпеки ведення технологічних операцій на пресовому обладнанні. Досліджено технологічні складові повного циклу формування вогнетривів. Проведено оцінку відносної помилки часу циклу по відхиленню варіаційного ряду часових параметрів і по відхиленню математичного очікування варіаційного ряду від нормованого значення тривалості циклу. Отримані результати свідчать про достовірність значення часу робочого циклу преса, отриманого розрахунковим шляхом, його реальному значенню. Визначено найбільш травмонебезпечні місця з відкритим доступом оператора до рухомих елементів преса. Проведено дослідження оцінки можливих втрат напруги живлення в електричній мережі 380 В для преса CM1085. Розроблено рекомендації щодо поліпшення умов праці, які дозволяють фіксування пікових навантажень, здійснення захисту оператора від попадання в робочу зону преса з урахуванням використання швидкодіючих засобів захисту і блокувань. Реальна електрична мережа задовольняє вимогам, що пред'являються якості напруги живлення.

Ключові слова: електробезпека, пресове обладнання, вогнетривке виробництво, правила, методи, блокування, напруга, ймовірність, норма

S.A. Zhovtobruk

Donetsk National Technical University

Increasing the electrical safety of press equipment in the production of refractories.

The conditions for ensuring the safety of technological operations on press equipment are

considered. To ensure the safety of technological operations by the operator, it is necessary to increase the efficiency and accuracy of measuring control over the molding force, the quality of the supply voltage and the state of the protections and interlocks on electrical equipment. The technological components of the complete molding cycle of a refractory product are investigated. The working cycle time is determined only by the parameters of the electrotechnical complex of the CM1085 press. With a deviation of the technological parameters that determine the quality of the molding of refractories, to a lesser extent from the normalized values, a decrease in the productivity of the press will occur. If they are deflected upward, the press will overload, which will lead to the operation of automatic protections or breakage. The relative error of the cycle time was estimated by the deviation of the boundaries of the variational series of time parameters and the deviation of the mathematical expectation of the variational series from the normalized value of the cycle duration. The results obtained indicate the reliability of the value of the time of the press working cycle, obtained by calculation of its real value. The most traumatic places with open access to the movable elements of the press are identified. Studies were carried out to assess the possible loss of supply voltage in the 380 V electric network for the CM1085 press. Recommendations have been developed on improving working conditions that allow fixing peak loads, protecting the operator from getting into the working area of CM1085 press, taking into account the use of high-speed protective equipment and locks. A real electric network meets the requirements for the quality of the supply voltage. Voltage losses are within acceptable limits. Emergencies related to disruption of the power supply system will be blocked by regular automatic protection elements.

Key words: electrical safety, press equipment, refractory production, rules, methods, blocking, voltage, probability, norm

Жовтобрух Сергей Анатольевич, Украина, закончил Донецкий национальный технический университет, старший преподаватель кафедры автоматики и телекоммуникаций. ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, 85300, Украина).

Основное направление научной деятельности – разработка, моделирование и исследование объектов и систем автоматизации технологических процессов.