

Исследование опасных и вредных факторов технологического процесса производства силикатного кирпича

Н.Ю. Клименти, О.С. Власова, С.И. Голубева

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград

Аннотация: В данной статье рассматриваются вредные факторы, негативно влияющие на здоровье работников, участвующих в технологическом процессе производства цветного силикатного кирпича, а также потенциально опасные факторы, которые могут привести к трагическим последствиям в результате взрывов и пожаров.

Ключевые слова: цветной силикатный кирпич, мелкодисперсная пыль, взрыв, источник воспламенения, окрасочные пигменты.

Технологический процесс производства цветного силикатного кирпича отличается от производства обычного силикатного кирпича дополнительным участком окрашивания. Окрашивание цветного силикатного кирпича производится двумя наиболее распространенными способами: поверхностным и объемным [1]. При поверхностном способе на готовый силикатный кирпич наносится красящий состав. Объемный способ окрашивания заключается в добавлении окрасочного пигмента в готовую силикатную массу, что обеспечивает наиболее устойчивую окраску. Различают сухой и жидкий объемный способ окрашивания кирпича. Жидкий способ заключается в растворении пигмента в воде и добавлении в силикатную массу в лопастном смесителе. Наиболее вредным и опасным технологическим процессом производства силикатного кирпича является сухой объемный способ окрашивания цветного силикатного кирпича [2].

При сухом объемном способе окрашивания наиболее проблемным участком является участок смешения компонентов в бункере смешения, где происходит смешение окрасочного пигмента с силикатной массой, состоящей из песка и дробленой обожжённой извести.

В цехе смешения компонентов происходит интенсивное смешение, пересыпка и транспортирование смеси, при этом в рабочую зону выделяется

мелкодисперсная пыль, ее состав и размер частиц зависит от исходных компонентов. Пыль, как правило, содержит оксиды марганца, фосфор, частицы оксидов железа, сажи, серы и др. При использовании в качестве окрасочных веществ пиритных огарков также выделяются оксиды алюминия, соединения мышьяка, оксиды магния, свинец и медь и др. [3,4].

Большинство выделяющихся в воздух рабочей зоны веществ негативно влияют на организм работников, находящихся постоянно в загрязненной рабочей зоне. Выделяющиеся частицы пыли песка (SiO_2) приводят к таким профессиональным заболеваниям, как силикоз и пневмокониоз. Кроме того, частицы, витающие в воздухе цеха, могут вызывать воспалительные заболевания кожи, верхних дыхательных путей и глаз. На коже в результате загрязнения может появиться сухость, микротрещины, которые могут быть «входными воротами» для инфекции, могут возникнуть дерматиты и закупорка сальных протоков, и как следствие, будут возникать гнойничковые заболевания кожи. Попадание пыли в глаза, в свою очередь, может привести к раздражению, сухости и как следствие к конъюнктивиту, отеку и воспалению слизистой глаз. Кроме того, необходимо отметить, что сопутствующими заболеваниями таких болезней легких, как силикоз и пневмокониоз являются: сердечная недостаточность, артериальная гипертония, ишемическая болезнь сердца, нарушение ритма сердечных сокращений [5,6].

Одной из составляющих силикатной массы является известь. Пыль извести по характеру воздействия на организм человека относится к четвертому классу опасности [7]. Пыль извести — это аэрозоль фиброгенного действия, воздействие которой на организм человека приводит к заболеваниям лёгких, в частности к узелковым изменениям в легочной ткани человека. Вдыхание воздуха с частицами извести, даже кратковременное, вызывает раздражение слизистой оболочки, сухость,

кашель и приводит к развитию таких болезней, как астма и бронхит. При попадании пыли извести в глаза возможны такие заболевания, как каротоконъюнктивиты, конъюнктивиты, а также наиболее острые заболевания, например, ожоги роговицы, которые могут привести к полной потере зрения.

Физико-химический анализ смеси силикатной массы показал, что кроме наиболее характерных веществ песка и извести, в смеси находятся такие сопутствующие вещества, как оксид алюминия (2,5% от состава смеси) и диоксид серы. Оксид алюминия при попадании в организм в первую очередь влияет на такие органы, как печень, поджелудочная, и щитовидная железа, накапливаясь в этих органах, негативно влияет на их работу. Диоксид серы, попадая в легкие, быстро распространяется по кровеносной системе, активизирует слизеотделение, вызывает бронхоспазм, изменяет фагоцитоз [8,9].

Виды окрасочных пигментов разнообразны как по цвету, так и по составу химических веществ, выделяемых в рабочую зону смесительного цеха. В частности, синий цвет кирпича достигается в результате добавления в силикатную массу фталоцианинового пигмента, который получают на основе мочевины, фталимида и хлорида меди и фталевого ангидрида, пыль которых, при попадании в организм человека, оказывает воздействие на нервную систему, печень, легкие, почки.

Черный или серый цвет кирпича получается в результате добавления в состав технического углерода (сажи). При попадании в дыхательные пути частиц сажи наблюдается дискомфорт в верхних дыхательных путях, раздражение, кашель, стертородное дыхание.

Для получения красного, желтого и коричневого цвета кирпича в смесь могут добавляться железнооксидные пигменты, преимущественным компонентом которых является Fe_2O_3 (от 12 до 90%). Частицы пыли железа и

его оксидов, попадая в легкие, обладая кумулятивным эффектом, вызывают заболевания легких: сидероз, разрушение легких, плевры. Попадание частиц железооксидных пигментов на кожу вызывает аллергические дерматиты.

Одним из наиболее вредных для организма человека пигментом, применяемым при окрашивании силикатного кирпича, являются пиритные огарки, являющиеся побочными продуктами обжига серного колчедана (пирита) при получении серной кислоты. Химический состав пиритных огарков: SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgO , CaO , цинк, медь, сера, свинец, селен и мышьяк. Каждый из перечисленных компонентов по-своему негативно влияет на организм человека [10].

Исследование свойств пыли веществ, поступающих в рабочую зону цехов предприятия по производству цветного силикатного кирпича, показало, что кроме токсичных свойств они обладают пожаро-взрывоопасными свойствами.

При этом необходимо отметить, что любая, даже не горючая пыль с сильно развитой поверхностью частиц способна самовоспламениться, загореться и образовать с воздухом взрывоопасную смесь [11].

Воспламенение может возникнуть от появления искры в результате замыкания электричества в производственном оборудовании, при возникновении искр в результате удара лопастей вентиляторов и удара их о кожух, в результате поломки, или перегрева двигателей и статического электричества [12,13].

Наиболее химически активны частицы меньшего размера, так как имеют большую удельную поверхность, поэтому химически активные частицы наиболее активно взаимодействуют с кислородом, что приводит к увеличению температуры в зоне горения. При этом в местах скопления мелкодисперсных частиц возможно воспламенение и взрыв. Группировка мельчайших частиц в сумме имеет повышенную удельную поверхность,

которая непосредственно соприкасается с кислородом, что увеличивает скорость горения и может приводить к взрывам. Скорость пламени горения пыли 10...15м/с, а скорость распространения взрыва более 100м/с [14].

Взрыв пылевоздушной смеси на строительных предприятиях может возникнуть в бункерах технологического оборудования, при накоплении пыли в системах аспирации или на поверхности стен, полов внутри цехов. При этом внутри помещения цеха частицы, как правило, распределяются неравномерно, что непосредственно зависит от температуры воздуха внутри помещения, подвижности и давления воздуха, удаленности от пылящего оборудования, объема и времени обрабатываемого сырья, химических свойств веществ и дисперсного состава частиц.

Чаще всего мелкие частицы пыли накапливаются на стенах, потолках, различных ограждениях, образуя пылевоздушную смесь, в том числе и взрывоопасной концентрации [15]. Пыль может долго откладываться в объеме оборудования и при изменении потоков воздуха, например в результате открытия какого-либо проема, может произойти завихрение, приводящее к превышению пожаровзрывоопасного порога. При этом степень завихрения частиц влияет на скорость распространения и силу взрыва [11].

Пылевоздушная смесь может взорваться при быстротечном соединении поверхности частиц с кислородом воздуха, при этом взрыв происходит с большим количеством газообразных продуктов и большого количества тепла, соответственно эта смесь образует взрывную волну, которая может достигать максимальных параметров [11].

Известно [11,13,14], что такие взрывы происходят, как правило, в два и более этапов. Первый этап - это взрыв в технологическом оборудовании, который приводит к первичному завихрению пыли, расположенной на полу, стенах, потолке и самом оборудовании. На втором этапе взрывается образовавшееся пылевое облако [16].

Чем меньше дисперсность частиц пыли, тем больше развита их поверхность, они более активны, имеют низкую температуру самовоспламенения и более широкий интервал между верхним (ВКПР) и нижним (НКПР) концентрационным пределом. В таблице 1 приведена классификация пылей по взрывоопасности.

Таблица №1

Классификация пылей по взрывоопасности [11]

Группа	Характеристика пыли	Значения классификационных параметров	
		Нижний концентр. предел воспламенения, г/м ³	Максимальная скорость нарастания давления, МПа/с
I	Наиболее взрывоопасная	≤ 65	Для классификации не определяется
II	Взрывоопасная	> 65	> 2
III	Не взрывоопасная	> 65	≤ 2

По справочным данным аэрозоли органических веществ подразделяются по значениям НКПР на группы: 1) 2,3 - 15 г/м³; 2) 16 - 65 г/м³. Органические красители, которые добавляются в смесь при окраске цветного силикатного кирпича, имеют НКПР в пределах 35-130 г/м³, металлосодержащие антрахиноновые красители 35-230 г/м³ [13,14].

При сухом объемном окрашивании возможно поступление в рабочую зону мелкодисперсной пыли аэрозолей таких пигментов, как, например, технический углерод, являющийся горючим материалом, склонным к самовозгоранию с НКПР, равным 60г/м³. Для образования пылевоздушной смеси достаточно содержания технического углерода, в составе которого будет всего $>8\%$ летучих веществ. В таблице 2 приведены показатели пожаровзрывоопасности технического углерода различных марок [17].

Таблица № 2

Показатели пожаровзрывоопасности технического углерода различных марок [17].

Показатели	ПМ-15	ПМ-50	ПМ-50А	ПМ-50Н	ПМ-100	ПМН-130	ПМО-95Н
1	2	3	4	5	6	7	8
Влажность, %	0,25	0,26	0,6	0,3	0,35	0,7	1,07
Масляное число, мл/г	90	106	99,3	102	106	78	55
Содержание серы, %	-	0,46	0,77	0,71	0,52	0,2	0,42
Зольность, %	0,14	0,26	0,35	0,3	0,05	0,29	0,94
Удельная геометрическая поверхность, м ² /г	18	53,1	54,2	51,85	92,0	121,8	92,9
рН водной суспензии	-	7,2	7,9	8,6	7,0	2,7	3,9
Группа горючести	Трудно-горючий	Горючий					
Нижний концентрационный предел распространения пламени, г/м ³	отсут. до 2000	-	-	-	отсут. до 1500	-	-
Т. самовозгорания, °С	-	-	260	395	-	-	-
Т. самовоспламенения, °С	-	344	-	-	322	286	292

Параметры взрывных явлений аэрозолей органических и неорганических веществ, которые используются при окрашивании силикатного кирпича, приведены в таблице 3.

Для моделирования взрывных явлений аэрозолей в аппаратуре и других замкнутых пространствах при оценке масштабов и характера разрушений применяются принципы моделирования взрывов газовых сред с учетом объема энергетического потенциала и реальной геометрической формы. При этом скорость нарастания давления (импульс взрыва), как правило значительно отличается для различных веществ, например, для органических красителей они составляют 30-70МПа/с, для неорганических красителей – 0,03-0,05 МПа/с.

Таблица №3

Параметры взрывных явлений аэрозолей красителей [11]

Материал	Теплотворная способность q_v , МДж/кг	Дисперсность, мкм	НКПР, г/м ³	$E_{мин}$, МДж	Максимальное значение давления взрыва $P_{v, макс}$, МПа	Скорость увеличения давления dP/dt , МПа/с	Температура самовоспламенения $T_{св}$, К	Минимальное взрывоопасное содержание	Объемная плотность энергодельтелия $q_v \cdot \rho$, кДж/м ³	q_v/P_{max} , МДж/МПа
Красители										
Дисперсионный синий 7-74	2430	10-25	82,0	20	740	32,5	906	15	0,2	1,08
Пигмент дневной зеленый флуоресцентный 108a	42860	3-10	45,0	5,4	800	67,0	599	10,5	1,93	9,64
Технический углерод (сажа)	28326	3-25	50,0	-	920	8,5	773	-	-	-
Пигмент дневной флуоресцентный желтый	22375	5-10	35,0	5,5	780	34,0	630	10,5	0,8	4,02
Органический фиолетовый 2К	-	80	-	50	750	37,5	897	12	-	-
Антрахиноновые (металлосодержащие) красители										
Нафталин	39900	100	2,5	-	651	58	1073	14	0,26	1,63
Пигмент бордо антрахиноновый на полиэтилене	42860	1-20	39,0	-	230	25,0	663	-	1,47	29,1
Жирорастворимый ярко-синий антрахиноновый	35660	5-50	74,0	-	1000	62,0	711	-	2,65	10,6
Фталевый ангидрид	21000	74	15,0	10	750	144	955	14	0,42	2,25

Обеспечение взрывобезопасных условий в цехах производства цветного силикатного кирпича осуществляется: подбором безопасных окрасочных пигментов, уменьшением опасных концентраций

пылевоздушной смеси, контролем режимов дозирования пигментов, предотвращением отклонений от значений, заложенных в регламент, подбором режимов гидродинамических и теплообменных процессов. Необходимо также контролировать параметры технологической среды (давления, состава вещества, температуры), которые должны снижать взрывоопасность смеси. Наиболее важным является обеспечение правильной работы общеобменной и локализирующей вентиляции, которая в свою очередь обеспечивает снижение запыленности помещений.

Для обеспечения правильного подбора общеобменных и локализирующих систем вентиляции необходимо обязательно проводить исследования физико-химических свойств пылевых частиц и их дисперсного состава.

Для оценки потенциальной пожарной обстановки в цехах и выбора мероприятий по профилактике необходимо знать аэродинамические свойства частиц пыли (скорость трогания, скорость витания) [18].

Таким образом, для снижения влияния вредных и опасных факторов [19] и пожароопасности, перед проектированием систем общеобменной и локализирующей вентиляции необходимо проводить исследования физико-химических свойств пыли, дисперсного состава, аэродинамических характеристик пыли и рабочих параметров технологического процесса, а также рабочих параметров внутри помещений (температура, влажность и подвижность воздуха).

Литература

1. Куприянов В. П. Технология производства силикатных изделий. 2-е, перераб. и доп. изд. М.: Высш. шк., 1975. 240 с
2. Немахов И.В. Способы производства цветного силикатного кирпича // Аллея науки. 2017 . Т.4, №9. С. 213-214.



3. Шуршиков С.В. О результатах исследований основных свойств пыли в производстве керамического кирпича // Инженерный вестник Дона. 2018. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5447.
 4. Федосеев В.Б. Переработка железосодержащих пылевидных отходов металлургического производства в пигмент для окраски строительных материалов // Бутлеровские сообщения. 2013. Т. 35, № 9. С. 94-102.
 5. Любченко П.Н. Случаи нетипичных лёгочных заболеваний при воздействии промышленных аэрозолей // Медицина труда и промышленная экология. 2014. №10. С. 31-35.
 6. Никифорова Г. А. Оценка риска влияния производственных факторов на здоровье работающих в условиях контакта с кремнийсодержащей пылью: дис. ... канд. мед. наук: 14.00.05, 14.00.07. Самара, 2002. 140 с.
 7. Лаврова М.А. Очистка газов от среднedisперсной пыли цеха первичного гашения извести производства силикатного кирпича // Аллея науки. 2017. Т. 3. № -9.. С. 697-702.
 8. Отнюков О.А. Гигиена труда и состояние здоровья работников в производстве силикатного кирпича в условиях незавершенной комплексной автоматизации и механизации технологического процесса: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.07. СПб., 1997. 27 с.
 9. Liou, S.H., Y.P. Chen and W.Y. Shih, 2010. Pneumoconiosis and Pulmonary Function Defects in Silica-Exposed Fire Brick Workers. Chien-Chou Lee, № 5. pp. 227-233.
 10. Nij Evelyn Tjoe, Hilhorst Simone, Spee Ton, Spierings Judith, Steffens Friso, Lumens Mieke, Heederik Dick / Dust Control Measures in the Construction Industry // British Occupational Hygiene Society Published by Oxford University Press. 2003. Vol. 47. No 3. pp. 211-218.
-



11. Бесчастнов М. В. Промышленные взрывы: оценка и предупреждение. М.: Химия, 1991. 432 с.

12. Азаров В.Н., Артюхин А. С. О взрывопожарной безопасности систем обеспыливающей вентиляции с пылеуловителями ВЗП // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: материалы IX Междунар. науч. конф. Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2006. С. 69-7.

13. Баратов А.Н., Пчелинцев В. А. Пожарная безопасность. М.: Изд-во АСВ, 1997. 176 с.

14. Шебеко Ю. Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов // Пожарная безопасность. 2012. №2. С. 22-31.

15. Сечин А. И., Бабенко С. А., Сечин А. А. Изучение пожаровзрывоопасности аэрозвеси в условиях пониженного давления // Проблемы геологии и освоение недр: тр. 4-го Междунар. науч. симп. студентов, аспирантов и молодых ученых им. акад. М. А. Усова. Томск: Изд-во НТЛ, 2000. С. 526-527.

16. Пухлий В. А. Исследование вторичных очагов пожара при взрыве органической пыли // Физика горения и взрыва. 2000. Т. 36, № 3. С. 60-64.

17. Раздьяконова Г.И., Кохановская О.А., Лихолобов В.А., Пьянова Л.Г. Сравнение физико-химических свойств однотипных марок отечественного технического углерода // Каучук и резина. 2015. №2. С. 10-13.

18. Корольченко А. Я., Корольченко Д.А., Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Ч.II изд. М.: Пожнаука, 2004. 774 с.

19. Беспалов В.И., Турк Г.Г. Исследование процесса снижения загрязнения воздуха рабочей зоны оператора сушильного барабана кирпичных заводов // Инженерный вестник Дона. 2020. №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6752

References

1. Kupriyanov V. P. Tekhnologiya proizvodstva silikatnykh izdeliy [Silicate brick production technology]. 2-e, pererab. i dop. izd. M.: Vyssh. shk., 1975. 240 p.
2. Nemakhov I.V. Alleya nauki. 2017. Vol.4 №9. pp. 213-214.
3. Shurshikov S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5447.
4. Fedoseyev V.B. Butlerovskiye soobshcheniya. 2013. Vol. 35, № 9. pp. 94-102.
5. Lyubchenko P.N. Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2014. №10. pp. 31-35.
6. Nikiforova G. A. Otsenka riska vliyaniya proizvodstvennykh faktorov na zdorovye rabotayushchikh v usloviyakh kontakta s kremniysoderzhashchey pylyu [Assessment of the risk of the impact of production factors on the health of workers in contact with silicon-containing dust]: dis. ... kand. med. nauk: 14.00.05, 14.00.07. Samara, 2002. 140 p.
7. Lavrova M.A. Alleya nauki. 2017. T. 3. № -9. pp. 697-702.
8. Otnyukov O.A. Gigiyena truda i sostoyaniye zdorovya rabotnikov v proizvodstve silikatnogo kirpicha v usloviyakh nezavershennoy kompleksnoy avtomatizatsii i mekhanizatsii tekhnologicheskogo protsessa [Occupational hygiene and health status of workers in the production of silicate bricks under conditions of incomplete complex automation and mechanization of the technological process]: avtoref. dis. ... kand. med. nauk: 14.00.07. SPb., 1997. 27 p.
9. Liou, S.H., Y.P. Chen and W.Y. Shih, 2010. Pneumoconiosis and Pulmonary Function Defects in Silica-Exposed Fire Brick Workers. Chien-Chou Lee, № 5. pp. 227-233.

10. Nij Evelyn Tjoe, Hilhorst Simone, Spee Ton, Spierings Judith, Steffens Friso, Lumens Mieke, Heederik Dick British Occupational Hygiene Society Published by Oxford University Press. 2003. Vol. 47 No 3. pp. 211-218.

11. Beschastnov M. V. Promyshlennyye vzryvy: otsenka i preduprezhdeniye [Industrial explosions: assessment and prevention] M.: Khimiya, 1991. 432 p.

12. Azarov V.N., Artyukhin A. S. Kachestvo vnutrennego vozdukha i okruzhayushchey sredy: materialy IX Mezhdunar. nauch. konf. Volgograd: Izd-vo VolgGASU, 2006. pp. 69-7.

13. Baratov A.N., Pchelintsev V. A. Pozharnaya bezopasnost' [Fire safety]. M.: Izd-vo ASV, 1997. 176 p.

14. Shebeko YU. N. Pozharnaya bezopasnost'. 2012. №2. pp. 22-31.

15. Sechin A. I., Babenko S. A., Sechin A. A. Problemy geologii i osvoeniye nedr : tr. 4-go Mezhdunar. nauch. simp. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh im. akad. M. A. Usova. Tomsk: Izd-vo NTL, 2000. pp. 526-527.

16. Pukhliy V. A. Fizika goreniya i vzryva. 2000. T. 36, № 3. pp. 60-64.

17. Razd'yakonova G.I., Kokhanovskaya O.A., Likholobov V.A., P'yanova L.G. Kauchuk i rezina. 2015. №2. pp. 10-13.

18. Korol'chenko A. YA., Korol'chenko D.A., Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya [Fire and explosion hazard of substances and materials and means of their extinguishins]. CH. II. M.: Pozhnauka, 2004. 774 p.

19. Bepalov V.I., Turk G.G. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6752.