

снення реконструкції з застосування принципу VAV-системи дає змогу досягти зменшення витрат зменшення витрат теплової енергії на 44,03 Гкал/рік, зменшення електроспоживання складає 20546 кВт•год/рік, що відповідно у відсотках до первинного значення споживання теплової енергії становить зниження на 70%, електричної енергії на 92% в даному конкретному розрахунку.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** За результатами виконання дослідження можна зробити висновок про безперечну доцільність та перспективність використання вентиляційних систем зі змінною витратою повітря при проектуванні та реконструкції систем вентиляції насамперед будівель начальних закладів та інших будівель з явно вираженим та визначеним за часом доби режимом експлуатації приміщень. При виконанні розрахунку та проектуванні систем вентиляції за принципом змінної витрати повітря основним чинником є коефіцієнт завантаженості приміщення, що для громадських будівель може визначатися в досить широкому діапазоні значень щодо розрахункових даних та потребує як теоретичного визначення так і впровадження комплексу заходів та засобів контролю завантаженості приміщення для автоматизації роботи систем вентиляції, одним з яких є контроль вмісту двоокису вуглецю в повітрі приміщення.

#### Список літератури

1. ДБН В.2.2-9-2009. Будівлі і споруди. Громадські будинки і споруди. – Офіц. вид.-(чинний від 01.10.2010р.). – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 50 с. – (Державні будівельні норми України).
2. ДБН В.2.2-3-97. Будинки та споруди навчальних закладів. Офіц. вид.-(чинний від 01.01.1998р.). – К.: Держкоммістобудування України, 1997. – 51 с. – (Державні будівельні норми України).
3. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Офіц. вид. – (чинний від 01.01.2014р.). – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 141 с. – (Державні будівельні норми України).
4. Вентиляція громадських будівель. Вимоги до виконання систем вентиляції та кондиціонування повітря (EN 13779:2007, IDT). – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 101 с. – (Державні будівельні норми України).
5. Стандарт EN 13779:2004. Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems..
6. **Веслав С., Яцек Х.** Системы VAV Краткое описание. – Краков, 2009. – 80 с.

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

УДК 622.235:622.271

А.А. СКАЧКОВ, горный инженер, «ГДД МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ»

### ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗОН В РАЗРУШАЕМОМ ВЗРЫВОМ МАССИВЕ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ЕГО ЭНЕРГОНАСЫЩЕНИИ

В статье анализируются геомеханические условия, при которых взрывное разрушение кристаллических пород осуществляется посредством взаимодействующих скважинных зарядов. Также учитываются особенности формирования зон вокруг заряда с различным напряженным состоянием горных пород.

**Цель.** Основной целью исследования является определение наиболее значимых факторов, влияющих на свойства горных пород при формировании в них силовых полей. И оно посвящено решению актуальной проблемы – снижению удельного расхода взрывчатых веществ для разрушения горных пород путем изменения порядка выполнения последовательности инициирования скважинных зарядов при их подрывании. Это учитывает взаимодействие взрывных нагрузок от разных зарядов.

**Методами исследования** являются анализ геологических данных по железорудным месторождениям Кривбаса, проектной документации, данных добычи руд горных предприятий и открытых разработок, научные публикации и их последующий анализ и синтез и разработка научных положений.

**Результаты исследования.** Для теории и практики ведения взрывных работ важно знать особенности формирования и взаимодействия силовых полей скважинных зарядов ВВ, взрывааемых в одной ступени замедления. Основную роль в процессе разрушения горного массива при этих условиях играют зоны I и II силовых полей разрушения. Подбором  $P(t)$  (величина импульса заряда взрывной полости) в каждом из взаимодействующих зарядов, можно регулировать процесс взрывного нагружения в зависимости от конкретных горно-геологических условий ведения взрывных работ. За счет изменения способов формирования и порядка взрывания зарядов ВВ в разрушаемом объеме можно влиять на процесс разрушения, зная особенности формирования силовых полей.

Характер формирования и основные характеристики зоны III – важны для изучения процесса разрушения горного массива, приведенного в напряженное состояние от ранее взорванных скважинных зарядов ВВ.

**Выводы.** Учитывая временные и геометрические характеристики зоны Ш, можно предположить, что напряженное состояние горного массива будет полностью отвечать физическим параметрам интегральной зоны, образованной от ранее взорвавшихся скважинных зарядов ВВ. Полученные результаты могут быть использованы для разработки взрывных технологий, основанных на разрушении горного массива, приведенного предварительно в напряженное состояние от взрыва зарядов ВВ, например, малой мощности.

**Оригинальность** заключается в определении комплексного подхода к решению указанной проблемы и ряде технических решений.

**Практическое значение.** Дальнейшее развитие и производственное применение результатов исследований обеспечит значительное снижение себестоимости железорудной продукции за счет повышения эффективности буровых и взрывных работ в железорудном карьере.

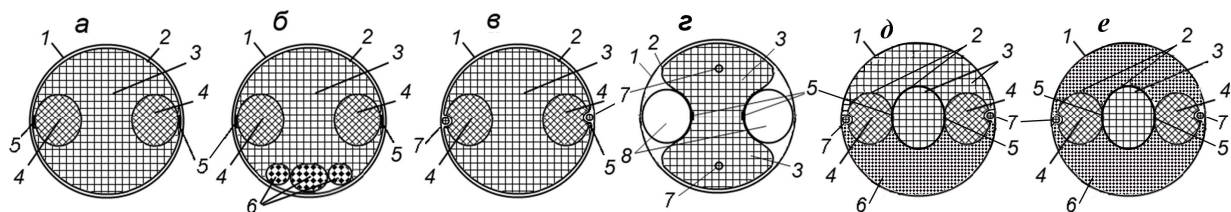
**Ключевые слова:** горная порода, взрывное разрушение, карьер, взрывные волны, взрывные работы, скважинные заряды.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-185-190

**Постановка проблемы.** Традиционные методы ведения взрывных работ в карьерах объединяет то, что уступ горных пород наиболее неравномерно разрушается в зоне, прилегающей к откосу, в результате чего образуется горная масса из самых неоднородной кускуватостью [1]. Исключительно сложное напряженно-деформированное состояние породного массива в этой части при взаимодействии скважинных зарядов, подрываемых в первом и втором рядах, является одной из главных причин неконтролируемого выхода негабаритной фракции при выполнении взрывных работ, что отрицательно сказывается на технико-экономических показателях всего горнодобывающего производства, поэтому поиск путей решения данной задачи является **весьма актуальным** [2-3], так как в свою очередь способствует **решению проблемы** повышения эффективности буровзрывных работ.

**Анализ последних исследований** в теории взрывного разрушения кристаллических массивов и практики БВР, **одним из наименее исследованных теоретически и нерешенных практически вопросов** является неравномерное влияние на формирование взрывом нагрузки краевой части уступа, оптимизировать что становится возможным при целенаправленном использовании эффектов развития динамической зоны разрушения, создаваемой силовыми полями взаимодействующих зарядов приконтурных рядов [4-6]. В связи с этим в исследования **закладывалась идея** возможности целевого использования динамических эффектов, проявляющихся при взаимодействии скважинных зарядов, для решения чего задачи исследований формулировались в соответствии с нею, а именно: заряды первого ряда скважин инициируются после подрыва зарядов второго, образуя благодаря благоприятному формированию напряженного состояния массива более оптимальную динамическую зону в соответствии с конкретными условиями.

**Изложение материала исследования.** Продукты детонации, действующие на стенки зарядной камеры, образуют в разрушаемом горном массиве очень неоднородное сложное поле напряжений, распространяющееся со скоростью, определяемой физическими свойствами разрушаемой среды. Еще более общий тензор напряжений усложняется, когда подрываемый породный массив разрушается комбинированными скважинными зарядами, состоящими из компонентов с различными детонационными характеристиками, каковыми являются предлагаемые автором (рис. 1).



**Рис. 1.** Поперечное сечение скважинных зарядов парных рядов: 1 – скважина; 2 – полимерный рукав; 3 – низкобризантный заряд; 4 – линейные высокобризантные заряды; 5 – места пропайки рукава; 6 – инертные демпферы; 7 – ДШ; 8 – воздушные образователи кумулятивных желобов

В реальных условиях, даже при равномерном напряжении, поля напряжений имеют локальную неоднородность. На берегах трещин концентрируются напряжения. Этот процесс во

многим зависит от их конкретных размеров. Когда величина напряжений достигает некоторой величины  $\sigma_i$ , трещина начинает расти с определенной скоростью (рис. 2 а). При этом процесс развития трещин становится необратимым. Для разрушения хрупкой среды необходимо и достаточно, чтобы удовлетворялось условие  $\varepsilon \geq \varepsilon_p$ , где  $\varepsilon$  – относительная деформация среды от воздействия взрыва;  $\varepsilon_p$  – максимально возможная относительная деформация.

Для изучения особенностей формирования силовых полей разрушения при взрывной отбойке горных пород скважинными зарядами ВВ рассмотрим структуру и закономерность формирования области разрушения цилиндрического заряда на основе теоретических схем и условий, приведенных в работах [7-9].

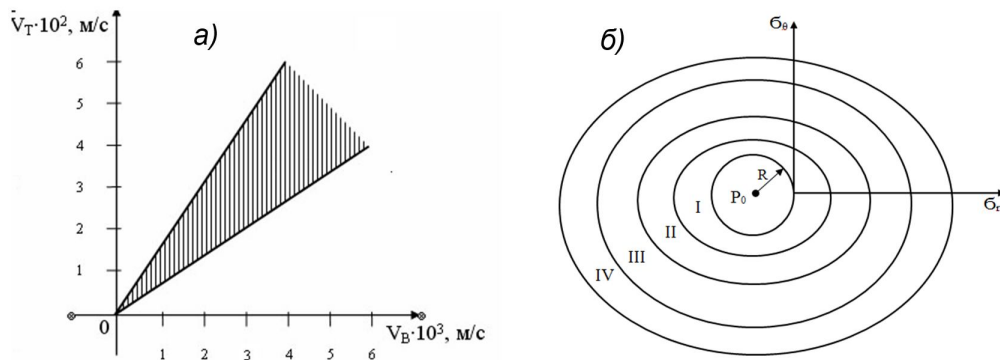


Рис. 2. Зависимость процесса развития трещин от скорости распространения волн напряжений (а) и схема структуры области разрушения цилиндрического заряда ВВ (б)

Введем следующие обозначения: зона I – область  $\sigma_\theta - \alpha \sigma_r = \beta$ ,  $\sigma_r < \sigma_\theta < 0$  в плоскости напряжений  $\sigma_r, \sigma_\theta$  и соответствующая ей область разрушения, зона II – область  $\sigma_\theta = 0$  в плоскости напряжений и соответствующая ей область разрушения, зона III – область возмущенного физического пространства, где среда находится в неразрушенном состоянии. Зоны I, II, III располагаются в порядке их удаления от взрывной полости (рис. 2 б).

Поверхность разрушения находится на границе зон II и III. Для рассматриваемого случая линейные соотношения между напряжениями  $\sigma_r$  и  $\sigma_\theta$  имеют вид:  $\sigma_\theta = \alpha \sigma_r + \beta$ , ( $0^\circ < \delta < 90^\circ$ ), где  $\alpha = \frac{1 - \sin \delta}{1 + \sin \delta}$ ,  $\beta = \frac{2k \cos \delta}{1 + \sin \delta}$ . Здесь  $k$  и  $\delta$  – коэффициент сцепления и угол внутреннего трения.

Для того чтобы указать общую замкнутую систему уравнений для описания процесса разрушения твердой среды под действием взрыва, остановимся на представлении о разрушении фиксированной материальной частицы.

Если ударная волна сжатия вначале имеет большую интенсивность, то разрушение частицы происходит непосредственно на переднем фронте волны. В этом случае поверхность разрушения совпадает с фронтом ударной волны. Если интенсивность ударной волны недостаточно велика, то скорость распространения поверхности разрушения – меньше скорости распространения переднего фронта возмущения и величина поверхности разрушения является постоянной и зависит от прочностных свойств разрушаемой среды. В этом случае вначале частица в неразрушенном состоянии подвергается некоторому возмущению, находящемуся в упругой области, а затем начинается постепенное разрушение. Дробление частицы тем больше, чем ближе она расположена к месту взрыва. Поверхности разрушения, как некоторой границе возможной полости в разрушаемой среде, придается геометрический смысл.

Для рассматриваемых зон основного поля разрушений цилиндрического заряда будем считать процесс расширения газа в полости квазистатическим и политропным:

$$P r_1(t)^{3\gamma} = P_0 \cdot R^{3\gamma}, \quad (1)$$

где  $r_1(t)$  – радиус взрывной полости в момент времени  $t$ ,  $\gamma$  – показатель политропы.

Компонентами вектора смещения и скорости материальной частицы будут радиальные составляющие  $u$  и  $v$ . В рассматриваемом случае использована эйлерова координата  $r$  и начальная координата  $r_0$  материальной точки.

Для зоны I система уравнений имеет вид:

$$\text{уравнение движения} - \rho(\partial v / \partial t + v \partial v / \partial r) = \partial \sigma_r / \partial r + 2(1 - \alpha)(\sigma_r - 2\beta)r^{-1};$$

уравнение сохранения массы

$$r^{-2} \partial(r^2 v) / \partial r = 0 \quad (2)$$

и следующие тождества:

в эйлеровых координатах –  $r = r_0 + u(r, m)$ ,  $v = \partial u / \partial t + v \cdot \partial u / \partial r$ ;

в лагранжевых координатах –  $r = r_0 + u(r_0, m)$ ,  $v = \partial r / \partial t = \partial u / \partial t$ .

Согласно законам сохранения массы

$$v = f'(t)r^{-2}, \quad (3)$$

где  $f(t)$  – произвольная функция.

Тогда с учетом изложенного

$$u = r - f_2(r^3 - 3f(t)). \quad (4)$$

$\sigma_r = f_1(t) \cdot r^{-2(\alpha+1)} + \beta(1-\alpha)^{-1} - \rho f_1'' \cdot r^{-1} + \rho f_1'^2 \cdot 1/2r^4$ , где  $f_1(t)$  и  $f_2(t)$  – произвольные функции.

Из условия (1) находим  $f_1$  и в результате получаем

$$\sigma_r = \left(\frac{r_1}{r}\right)^{2(1-\alpha)} \left( \frac{-\beta}{1-\alpha} - \alpha_0 r_1^{-3} + \frac{\rho f_1''(t)}{r_1} - \frac{\rho f_1'^2(t)}{2r_1^4} \right) + \frac{\beta}{1-\alpha} - \frac{\rho f_1''(t)}{r} + \frac{\rho f_1'^2(t)}{2r^4}, \quad (5)$$

где  $\alpha_0 = P_0 R^{3\gamma}$ .

Из первого равенства (4) можно найти  $f_2(t)$ , а  $f_1(0)$  можно принять равным нулю. И в результате получим

$$u = r - r_0 = r - (r^3 - 3f_1(t))^{1/3}. \quad (6)$$

Общее решение исходных уравнений для зоны I дают формулы (3), (5) и (6). Данное решение содержит произвольные функции:  $r_1(t)$  и  $f(t)$ .

Система уравнений для нахождения основных характеристик для зоны II имеет вид

$$\rho \partial^2 u / \partial t^2 = \partial \sigma_r / \partial r + 2\sigma_r / r;$$

$$\sigma_r = E \partial u / \partial r - P_0(1 - 2v);$$

$$\sigma_\theta = 0.$$

Общее решение задачи для зоны II выражается через две произвольные функции  $f_2$  и  $f_1$

$$u = r^{-1}(f_2(c_1 t - r) + f_3(c_1 t + r)) + r P_0(1 - 2v)E^{-1};$$

$$v = (c_1 / r)(f_2'(c_1 t - r) + f_3'(c_1 t + r));$$

$$\sigma_r = (E/r)(f_3'(c_1 t + r) - f_1'(c_1 t - r)) - (E/r^2)(f_2(c_1 t - r) + f_3(c_1 t + r)), \quad (7)$$

где  $c_1 = \sqrt{E/\rho}$ .

Система уравнений для зоны III определена согласно несжимаемости среды разрушения как

$$\rho_0 \partial^2 u / \partial t^2 = \partial \sigma_r / \partial r + 2/r(\sigma_r - \sigma_\theta);$$

$$\sigma_r = -P_0 - P + 2\mu \partial u / \partial r; \quad (8)$$

$$\sigma_\theta = -P_0 - P + 2\mu u / r;$$

$$\partial u / \partial r = -2ur^{-1}.$$

Общее решение данной системы имеет вид

$$u = r_0^{-2} \cdot f_4(t); \quad v = r_0^{-2} \cdot f_4'(t);$$

$$\sigma_r = -4\mu r_0^{-3} \cdot f_4(t) - \rho_0 r_0^{-1} \cdot f_4''(t) - P_0;$$

$$\sigma_\theta = 2\mu r_0^{-3} \cdot f_4(t) - \rho_0 r_0^{-1} \cdot f_4''(t) - P_0,$$

где  $f_4(t)$  – произвольная функция напряжения на бесконечности по условию равна  $-P_0$ .

Представленное силовое поле разрушения, на плоскости цилиндрического заряда ВВ должно отвечать следующим требованиям: смещение – непрерывно; потоки массы и импульса при

переходе через зоны – сохраняются; на поверхности разрушения должно выполняться условие, определяющее  $\theta$ .

Основные параметры силового поля (рис. 3) за достаточно большой промежуток времени ( $t \rightarrow \infty$ ) определяются из условия, что произвольные функции  $f_m (m = \overline{1,4})$  в общем решении превращаются в постоянные  $c_m (m = \overline{1,4})$  и решения на основании формул (5)-(8) принимают следующий вид

$(r_1 < r < r_2)$  – зона I

$$u = r - r_0 = r - (r^3 - 3c_1)^{1/3} \quad (\sigma_r = \alpha\sigma_r + \beta);$$

$$\sigma_r = \left(\frac{r_1}{r}\right)^{2(1-\alpha)} \left(\frac{\beta}{\alpha-1} - \alpha_0 r_1^{-3\alpha}\right) + \frac{\beta}{1-\alpha}; \quad (9)$$

$(r_2 < r < r_3)$  – зона II

$$u = c_2 r^{-1} + r P_0 (1-2\nu) E^{-1} + c_4, \quad \sigma_r = -E c_2 r^{-2}, \quad \sigma_\theta = 0; \quad (10)$$

$(r_3 < r < \infty)$  – зона III

$$u = c_3 r^{-2}, \quad \sigma_r = -P_0 - 4\mu c_3 r^{-2}, \quad \sigma_\theta = -P_0 + 2\mu c_3 r^{-3}. \quad (11)$$

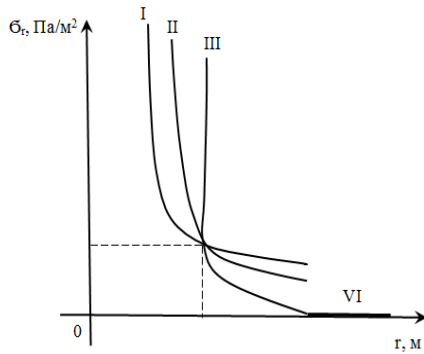


Рис. 3. Характеристика силового поля заряда ВВ

Окончательные размеры отдельных зон силового поля взрывного нагружения разрушаемой среды определяются как:  $r_1 = R/\lambda$ ,  $r_2 = (1-\lambda^3)^{1/3} \cdot r_1$ ,  $(0 < \lambda < 1)$ ,  $r_3 = r_2 (E\eta_2 / P_0 + 4\mu\eta_3)^{1/2}$ .

Для решений (9)-(11) постоянные  $c_m (m = \overline{1,4})$  равны

$$c_1 = R^3 (1-\lambda^3) / 3\lambda^3, \quad c_2 = \eta_3 r_2^2, \quad c_3 = \eta_3 r_3^3, \quad c_4 = -\frac{2P_0(1-\nu) + \eta_3(4\mu - E)}{E r_3^{-1}}.$$

Здесь  $\eta_2$  и  $\eta_3$  – положительные корни уравнений

$$\nu \cdot \eta_3^2 + 2\nu(3-\nu)\eta_2 \left(\frac{\beta}{E} - \alpha\eta_2\right) + (1+3\nu^2) \left(\frac{\beta}{E} - \alpha\eta_2\right)^2 = 0;$$

$$\nu^2 \left(\frac{P_0}{\mu} + 4\eta_3\right)^2 - 2\nu(3-\nu) \left(\frac{P_0}{\mu} + 4\eta_3\right) \left(\frac{P_0}{\mu} - 2\eta_3\right) + (1+3\nu^2) \left(\frac{P_0}{\mu} - 2\eta_3\right)^2 = 4(1+\nu)^3 \frac{\rho\theta}{E}.$$

Учитывая, что граница зоны I и II не является фронтом разрушения, при взрыве мощного скважинного заряда ВВ зона II возникает на сравнительно поздних стадиях процесса и на достаточном удалении от взрывной полости. В зависимости от давления газа в полости могут реализоваться самые различные сочетания зон I, II и III.

Для теории и практики ведения взрывных работ важно знать особенности формирования и взаимодействия силовых полей скважинных зарядов ВВ, взрывааемых в одной ступени замедления. Основную роль в процессе разрушения горного массива при этих условиях играют зоны I и II силовых полей разрушения. Подбором  $P(t)$  (величина импульса заряда взрывной полости) в каждом из взаимодействующих зарядов, можно регулировать процесс взрывного нагружения в зависимости от конкретных горно-геологических условий ведения взрывных работ. За счет изменения способов формирования и порядка взрывания зарядов ВВ в разрушаемом объеме, можно влиять на процесс разрушения, зная особенности формирования силовых полей.

Характер формирования и основные характеристики зоны III важны для изучения процесса разрушения горного массива, приведенного в напряженное состояние от ранее взорванных скважинных зарядов ВВ.

Учитывая временные и геометрические характеристики зоны III, можно предположить, что напряженное состояние горного массива будет полностью отвечать физическим параметрам интегральной зоны, образованной от ранее взорвавшихся скважинных зарядов ВВ. Полученные результаты могут быть использованы для разработки взрывных технологий, основанных на

разрушении горного массива, приведенного предварительно в напряженное состояние от взрыва зарядов ВВ, например, малой мощности.

**Выводы.** В определенных горно-геологических условиях взрывание породных массивов, сложенных кристаллическими породами, рационально осуществлять с помощью взаимодействующих скважинных зарядов ВВ разной мощности и при этом первыми инициировать комбинированные заряды меньшей мощности, расположенные во втором от откоса уступа ряду скважин, как предлагается в разработанных автором способах ведения буровзрывных работ.

#### *Список литературы*

1. Физика взрыва / Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др./ Под ред. К.П. Станюковича. - М.: Наука, 1975. - 407 с.
2. Persson P.A., Holmberg R. and Jailing L.– Rock Blasting and Explosives Engineering, CRC Press, London, 1994. PP 540.
3. Бетин В.Д. Развитие детонации в скважинных зарядах с полыми цилиндрами // Разработка рудных месторождений. Научно-техн. сб. – Кривой Рог: изд-во КТУ, 2003. – Вып. 83. – С.68-74.
4. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Часть 1. - М.: Горная книга, 2009. - 471 с.
5. Перегудов В.В., Жуков С.А. Пути повышения качества взрывных работ при разрушении горных пород сложной структуры. Монография. - Кривой Рог: Издательский дом, ISBN 966-7388-47-6. 2002. - 305 с.
6. Антонов А.Ю., Кириченко И.А. Разработка технологии отбойки на нижних горизонтах железорудных карьеров // Вісник КТУ. Кривий Ріг: КТУ, 2004 - № 5. – С.16-20.
7. Кузнецов В.М. Математические модели взрывного дела. – Новосибирск: Наука, 1977. - 259 с.
8. <http://industry-portal24.ru/razrushenie/2738-udarno-volnovaya-teoriya-vzryvnogo-razrusheniya.html>
9. Перегудов В.В., Жуков С.А. Пути повышения качества взрывных работ при разрушении горных пород сложной структуры. – Кривой Рог: Издательский дом, 2002. – 179 с.

Рукопись поступила в редакцию 03.05.2018

УДК 66.047.7: [62-4+544.023.5]

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Д.В. ОМЕЛЬЧУК, аспирант  
Криворізький національний університет

### **АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ СУШКИ ТОНКОДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Мета.** Метою даної роботи є аналіз стратегії вибору оптимального апаратурно-технологічного оформлення процесу сушіння конкретного матеріалу, що включає комплексний аналіз матеріалу як об'єкта сушіння.

**Методи дослідження.** У роботі використані теоретичні та емпіричні методи дослідження. Проведено аналіз сучасного стану парку сушильних установок, розглянуто найбільш поширені схеми сушки та виявлено найбільш ефективні методи інтенсифікації процесів сушки

**Наукова новизна.** В доповіді проаналізовані основні особливості сушки тонкодисперсних матеріалів. Зроблено висновок про енергоефективність та економічність сушильних апаратів, це і зумовило актуальність даної теми дослідження.

**Практична значимість.** Аналіз сучасних методів сушки тонкодисперсних матеріалів дозволив виявити основні проблеми галузі та знайти найбільш ефективні методи інтенсифікації процесу сушки. Був визначений оптимальний режим сушки з урахуванням технологічних вимог до якості висушеного продукту; розроблена комплексна класифікація матеріалів як об'єктів сушки з виходом на конструктивне оформлення сушильних установок, обґрунтовано визначення часу сушіння, рекомендований порядок вибору сушильних апаратів для тонкодисперсних матеріалів

**Результати.** При сушінні дисперсних матеріалів важливою проблемою є забезпечення екологічної та виробничої безпеки сушильних установок. Проаналізувавши різновиди сушки тонкодисперсних матеріалів ми можемо помітити, що кожен з видів має свої переваги та недоліки в процесі експлуатації, але застосування методу сушіння тонкодисперсних матеріалів шляхом пропускання змінного електричного струму безпосередньо через шар вологого матеріалу забезпечує найкращі показники енергозбереження, екологічності та енергоспоживання. Один з центральних питань - забезпечення очищення від пилу і створення безуносних сушилок. Були розглянуті основні методи зневоднення тонкодисперсних матеріалів, вивчені теоретичні та механічні засади сушильних процесів. В подальшому планується встановлення закономірностей даного методу для поліпшення якості кінцевого продукту і підвищення енергоефективності процесу сушки тонкодисперсних матеріалів.

**Ключові слова:** тонкодисперсні, інтенсифікація, сушильні апарати, енергоефективність.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-190-196