

**РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГАЗОНОСНОМ
УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ**

Наведено розрахунок динамічних напружень, складений на основі чисельного аналізу математичної моделі нестационарного деформування пружного середовища під дією змінного внутрішнього навантаження та застосування методу послідовної апроксимації.

**THE CALCULATION OF DYNAMICAL STRESSES IN GAS-SATURATED
COLA-ROCK MASSIF**

The calculation of dynamical stresses, based on numerical analysis of mathematical model of nonstationary deformation of elastic medium under action of variable internal load by means of method of successive approximation, was presented.

Существующие методики расчетов динамических напряжений базируются на сложных математических моделях или эмпирических данных, полученных из натуральных условий и потому не получили широкого распространения в горной практике. Отсутствуют удобные в техническом приложении расчетные зависимости, которые бы в компактной форме связывали бы параметры нагружения, упругие характеристики среды и геометрические параметры нагружаемой системы.

В работе [1,2] на основе численного анализа модели нестационарного деформирования упругой газонасыщенной среды и применения метода последовательной аппроксимации получены расчетные зависимости и впервые установлена закономерность изменения максимальных радиальных растягивающих напряжений для газоносного массива под действием переменной внутренней нагрузки на участке действия сил инерции, связующая параметры нагружения (изменение нагрузки во времени), упругие характеристики среды и геометрические параметры, справедливая для всех линейно упругих сред, общность которой полностью доказана теорией размерности [1].

Установлено, что максимальные растягивающие нормальные радиальные напряжения от действия падающей волны на внутреннем радиусе цилиндрической полости скважины на участке действия сил инерции прямо пропорциональны величине внутренней нагрузки p_0 и радиусу цилиндрической полости r_0 и обратно пропорциональны скорости упругой волны v_p и времени t_c сброса внутренней нагрузки с общим коэффициентом пропорциональности равном 0,9 для времени сброса $t_c < 0,03c$:

$$\sigma_r = 0.9 \cdot \frac{p_0 \cdot r_0}{V_p \cdot t_c} \quad (1)$$

где σ_r – максимальные растягивающие радиальные напряжения, Па; p_0 – максимальное значение (амплитуда) внутренней нагрузки, Па; r_0 – внутренний радиус цилиндрической скважины, м; V_p – скорость упругой волны, м/с; t_c –

время сброса внутренней нагрузки, с;

Для времени сброса нагрузки $t_c > 0,03c$ формула имеет вид:

$$\sigma_r = 1.1 \cdot \frac{p_0 \cdot r_0}{V_p \cdot t_c} \quad (2)$$

Максимальные растягивающие радиальные напряжения, от действия падающей волны с учетом глубины проникновения r в газоносную среду на участке действия сил инерции можно представить в виде формулы:

$$\sigma_r = 0.9 \cdot \frac{p_0 \cdot r_0}{V_p \cdot t_c} \cdot \left(\frac{r_0}{r} \right)^3 \quad (3)$$

где r – текущий радиус упругой среды, м;

Максимальные растягивающие напряжения на внутреннем контуре скважины и с учетом глубины проникновения в газоносный угленосный массив от действия отраженной волны определяются по формулам:

$$\sigma_r = 2.0 \cdot \frac{p_0 \cdot r_0}{V_p \cdot t_c} \quad (3)$$

$$\sigma_r = 2.0 \cdot \frac{p_0 \cdot r_0}{V_p \cdot t_c} \cdot \left(\frac{r_0}{r} \right)^3 \quad (4)$$

На величину радиального растягивающего напряжения существенное влияние оказывает характер и величина внешнего горного давления. Наиболее сложный случай нагружения будет, когда внешнее поле напряжений (горное давление) будет осесимметричным и сжимающим. В этом случае, следуя принципу линейной суперпозиции для упругой задачи, от величины максимального растягивающего напряжения полученного по формулам (1,2,3,4) следует вычесть значение радиального сжимающего напряжения σ_{rc} от действия постоянной статической внешней нагрузки для соответствующих значений r по известной формуле Ляме [3]:

$$\sigma_{rc} = -\frac{r_n^2 \cdot p_n}{r_n^2 - r_0^2} + \frac{r_0^2 \cdot r_n^2 \cdot p_n}{r_n^2 - r_0^2} \cdot \frac{1}{r^2} \quad (5)$$

где r_n – внешний радиус упругой среды, м; p_n – внешнее статическое давление (горное), Па

Тогда результирующее значение растягивающих напряжений $\sigma_{r,0}$ определяется по формуле:

$$\sigma_{r0} = \sigma_{rp} - \sigma_{rc} \quad (6)$$

Если величина результирующих напряжений σ_{r0} окажется больше, чем допускаемое значение на растяжение $[\sigma_p]$ для газоносной среды, то значит параметры управления в формулах (1,2,3,4) приняты, верно. Если же $\sigma_{r0} \leq [\sigma_p]$, то следует проводить корректировку управляющих параметров. Исходное положение перед сбросом внутренней нагрузки при осесимметричном нагружении, когда компоненты внутреннего и внешнего (горного) давлений осесимметричны, определяем по формуле Ляме для толстостенной трубы [3]:

$$\sigma_{rc} = \frac{r_0^2 \cdot p_0 - r_n^2 \cdot p_n}{r_n^2 - r_0^2} - \frac{r_0^2 \cdot r_n^2 \cdot (p_0 - p_n)}{r_n^2 - r_0^2} \cdot \frac{1}{r^2} \quad (7)$$

Инициирование создания растягивающих напряжений в этом случае будет происходить в очень жестких условиях, так как под действием внешней нагрузки p_n массив будет весь сжат. Сжимающими будут и радиальные и кольцевые напряжения. Причем радиальные сжимающие напряжения на внутреннем контуре скважины будут равны нулю. Это дает возможность активно воздействовать в радиальном направлении и изменять радиальные напряжения в заданном режиме. При сбросе внутренней нагрузки основное движение упругой среды будет происходить в радиальном направлении согласно расчетной математической волновой модели А. Н. Крылова[4].

В случае разнокомпонентного внешнего поля напряжений для вычисления радиальных сжимающих напряжений σ_{rc} следует пользоваться формулами Колосова – Мусхелишвили [5].

Выбор внутренней нагрузки, согласно формулам Ляме, должен соотноситься с величиной внешнего радиального давления (горное давление). Чем больше величина горного давления p_n или больше глубина залегания, тем больше должна быть величина внутреннего давления p_0 . Существующие технические возможности оборудования в состоянии создать значительные величины давления рабочего агента при его нагнетании в скважины. но величина внутренней нагрузки p_0 на практике ограничена давлением гидроразрыва, которое составляет $0,5-1,0 \gamma \cdot H$, где γ – плотность горной породы, т/м³; H – глубина залегания газоносных пород, м. Если создавать внутрискважинное давление p_0 меньше, чем давление гидроразрыва, то необходимо осуществлять быстрый сброс нагрузки. Быстрый сброс нагрузки ограничен, прежде всего, скоростью падения давления в рабочем агенте.

Из приведенных формул (1) и (2) видны различные варианты управления параметрами p_0 ; r_0 ; V_p и t_c для создания максимальных растягивающих радиальных напряжений в окрестности скважин после сброса нагрузки. Все перечисленные параметры имеют определяющее значение, и вопрос состоит только

в возможностях их технической реализации. Чем больше величина внутренней нагрузки p_0 , тем больше запас аккумулируемой упругой энергии, которая при определенных условиях реализуется в силы инерции и растягивающие радиальные напряжения после сброса нагрузки.

Время сброса внутренней нагрузки t_c складывается из времени открытия задвижки и времени падения давления в рабочем агенте, который используют для инициирования разрушения и газовыделения. Учесть время открытия задвижки возможно только в случае заполнения скважины водой при медленном ее открывании. Во многих газодинамических исследованиях принимается время открытия задвижки мгновенным, но даже при мгновенном открытии задвижки время сброса в конечном итоге определяется временем падения давления в рабочем агенте. В зависимости от того, какой величины необходимо создать градиент изменения давления в рабочем агенте и, в каком объеме скважины (полном или локальном) – делается выбор рабочего агента. Универсальных рабочих агентов для производства инициирования газовыделения в газоносных средах в различных условиях нет. Если необходимо создать большой градиент изменения давления во всем объеме скважины, то предпочтение следует отдать только жидкости (воде) или только газу, больше жидкости – в восходящих скважинах, а для нисходящих – газу. В этих рабочих агентах максимальные скорости волн звука, а, следовательно, больше возможности быстрого изменения давления во времени на стенках скважин, которые используют для газогидродинамического воздействия.

Если необходимо создать большой перепад давлений в локальном объеме скважины (например, скважины ориентированной по нормали к газоносному угольному пласту) то возможно использование комбинированной схемы воздействия «газ-жидкость» [6]. В целом отношение величины внутренней нагрузки к времени ее сброса p_0/t_c является самым важным технологическим мобильным параметром, определяющим градиент падения нагрузки во времени на стенках скважины при сбросе рабочего агента. При выборе в качестве рабочего агента жидкости следует максимально исключить влияние блокирования метана жидким рабочим агентом в стадии инициирования разрушения. Если скважина долгое время стояла открытой, то газоносный уголь мог дегазироваться и при подаче воды под давлением она может сразу заполнить поры и трещины, глубоко блокируя метан. Для того, чтобы инициирование прошло успешно необходимо сначала заполнить скважину при закрытой задвижке природным газом из массива, а затем заполнить скважину водой под давлением, вытеснив газ в угольный массив и затем уже проводить инициирование или воздействие на газоносный напряженный угольный массив.

Увеличение внутреннего радиуса технологической скважины может существенно повлиять на значения растягивающих радиальных напряжений. Из практических данных известно, что вероятность возникновения газодинамических явлений в шахтах выше тогда, когда радиус скважины больше. Следовательно, для того чтобы искусственно создать ситуацию близкую к природной, как видно из вышеприведенных формул (1),(2), необходимо бурить скважины

большого диаметра. На практике диапазон используемых диаметров скважин невелик и находится в пределах от 0,025 м до 0,3 м.

Скорость упругой волны это интегральный показатель, содержащий основные упругие характеристики среды: модуль упругости E , плотность среды ρ и коэффициент Пуассона ν . Диапазон изменения коэффициента Пуассона и плотности газоносных углей или песчаников невелик, диапазон изменения модуля упругости и степень его влияния на скорость изменения упругой волны может быть большой. Данные МакНии, полученные по замерам скоростей упругих волн в зонах высокой выбросоопасности газоносных углей показывают, что величина скорости упругой волны находится в пределах 500-600 м/с [7]. Чем меньше скорость упругой волны или чем менее прочной является среда, тем больше растягивающие радиальные напряжения, возникающие в ней при сбросе внутренней нагрузки с ее поверхности. Понизить прочность упругой среды можно искусственным или естественным образом, насыщая ее газом под давлением. В расчетах для газоносных песчаников характер изменения модуля упругости для песчаника при разной степени газонасыщения и напряженного состояния выражается по известной эмпирической формуле [8]:

$$E = E_0 + a \cdot e^{-b \cdot \sigma} \cdot P^c \cdot e^{d \cdot \sigma} \quad (8)$$

где E_0 – модуль упругости песчаника при стандартных условиях, Па; P – давление газонасыщения, Па; σ – напряжение песчаника на одноосное сжатие, Па; a, b, c, d – эмпирические коэффициенты, зависящие от состава газа. При насыщении песчаника метаном эти коэффициенты будут $a = 0,76$; $b = 0,0065$; $c = 0,225$; $d = 0,0022$. Предел прочности на одноосное сжатие, деформации и модуль упругости песчаников при газонасыщении в среднем на 30% меньше, чем эти же значения при отсутствии газонасыщения и потому в расчетах на прочность будем принимать значения модуля упругости при газонасыщении на 30% меньше, чем у стандартного не газонасыщенного, как для углей, так и для песчаников [8].

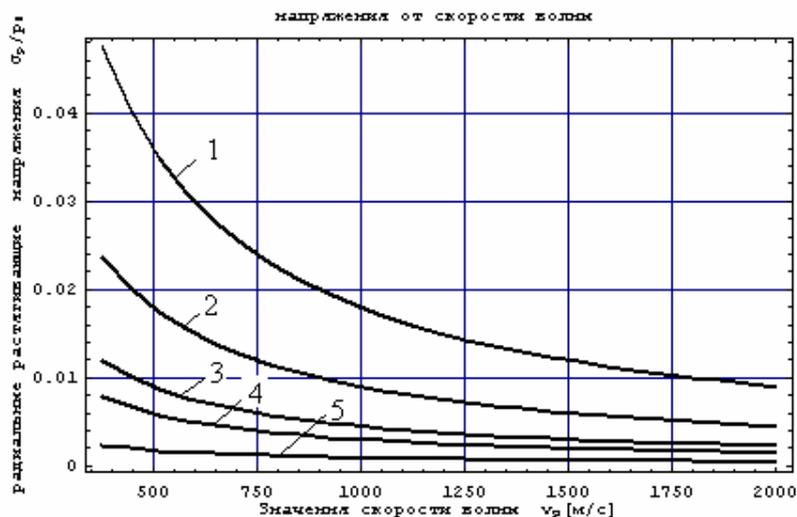
Для газоносных пород и углей приближенно степень понижения модуля упругости при газонасыщении учитывается коэффициентом равным 0,7.

Если нет данных о скорости упругой волны, то она заменяется по формуле $V_p = \sqrt{\frac{3 \cdot E}{2 \cdot (1 + \nu) \cdot \rho}}$ [3] и подставляется в формулу (1), (2) и, следовательно, используются известные значения E , ρ и ν из справочных данных или данных эксперимента [8].

$$V_p = \sqrt{\frac{3\eta \cdot E}{2(1+\nu) \cdot \rho}} \quad (9)$$

где η – коэффициент понижения модуля упругости, принимаемый из данных эксперимента по испытанию газонасыщенных образцов на прочность (сжатие и разрыв) или равный 0,7.

Удобно представлять графики изменения радиальных растягивающих напряжений в безразмерной форме σ_r/p_0 . Реальные значения радиальных растягивающих напряжений получаем умножением величины σ_r/p_0 на величину максимального первоначального давления p_0 . На рис 1. показано влияние скорости упругой волны на величину максимальных растягивающих напряжений при различном времени сброса внутренней нагрузки



1- $t_c=0.005c$; 2- $t_c=0.01c$; 3- $t_c=0.02c$; 4- $t_c=0.03c$; 5- $t_c=0.1c$

Рис.1 – Зависимость величины растягивающих радиальных напряжений σ_r/p_0 на внутреннем контуре скважины $r_0=0.1$ м от скорости упругой волны v_p при различном времени сброса t_c .

Для того чтобы определить растягивающие радиальные напряжения необходимо: 1) задать геометрию скважины через радиус r_0 и длину скважины L для определения времени сброса давления в рабочем агенте t_c ; 2) задать физико-механические свойства газонасыщенной упругой среды через v_p , с учетом степени ее газонасыщения или вместо v_p задать E , ρ , ν и по ним вычислить скорость упругой волны, подставляя ее в формулы (1),(2),(3),(4).

Для того чтобы воспользоваться вышеприведенным графиком или формулами необходимо задавать реальное время сброса t_c или определять реальное время сброса внутренней нагрузки для чего необходимо задать тип рабочего агента и подсчитать время падения давления в нем. В этом случае необходим учет длины скважины и величины гидравлического сопротивления, когда диаметр скважины менее 0,05м. Если скважина заполнена водой под избыточным давлением p_0 , время падения давления в ней приближенно можно вычислить по формуле:

$$t = \frac{L}{a_0} \cdot \left(1 - \frac{p}{p_0}\right) \quad (10)$$

Пример: скважина заполнена только жидкостью. Исходные данные для рабочего агента: начальное давление $p_0=50 \cdot 10^5$ Па; длина скважины $L=30$ м; скорость звука в воде $a_0=1350$ м/с; внутренний радиус скважины $r_0=0,1$ м; Определяем время сброса нагрузки по формуле (10)

$$t = \frac{30}{1350} \cdot \left(1 - \frac{1 \cdot 10^5}{50 \cdot 10^5} \right) = 0,0217 \text{ с.}$$

Исходные данные для упругой среды (угля): модуль упругости угля при стандартных условиях $E_0=2,5 \cdot 10^8$ Па. Коэффициент понижения модуля упругости при газонасыщении принимаем равным $\eta = 0,7$; коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$; плотность угля $\rho_y = 1,4 \cdot 10^3$ кг/м³. По исходным данным определяем скорость упругой волны газонасыщенного угольного массива по формуле (9):

$$V_p = \sqrt{\frac{3 \cdot \eta \cdot E_0}{2 \cdot (1 + \nu) \cdot \rho_y}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 10^8}{2 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,4 \cdot 10^3}} = 379,7 \text{ м/с}$$

Принимаем $V_p=380$ м/с.

1й вариант графического определения σ_r/p_0 : по величине $v_p = 380$ м/с и вычисленному значению t_c на Рис.1.

2й вариант: по формулам (1), (2) определяем величину σ_r/p_0 и реальное значение σ_r , определяем умножая эту величину на значения величины первоначального давления жидкости p_0 , подбирая величину p_0 такой, чтобы обеспечивалось условие $\sigma_r > [\sigma_p]$, где $[\sigma_p]$ – предел прочности газоносной среды на растяжение.

По формуле (1) определяем величину безразмерных растягивающих напряжений на внутреннем контуре скважины:

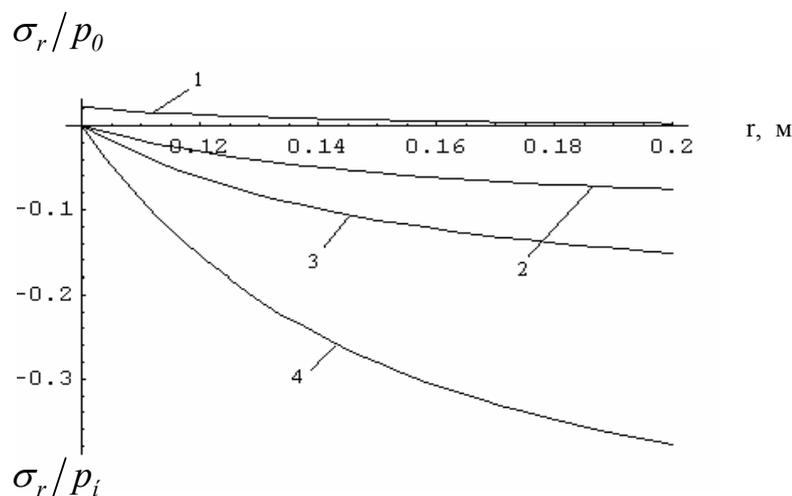
$$\sigma_r/p_0 = 0,9 \cdot \frac{r_0}{V_p \cdot t_c} = 0,9 \cdot \frac{1 \cdot 0,1}{380 \cdot 0,0217} = 0,0109$$

Для сравнения из графика рис.1 для кривой №3 получаем примерно такое значение безразмерного радиального растягивающего напряжения. Умножая эту величину σ_r/p_0 на принятое значение величины начального давления $p_0=50 \cdot 10^5$ Па, получим реальное значение величины растягивающих напряжений после сброса внутренней нагрузки:

$$\sigma_r = 0,0109 \cdot 50 \cdot 10^5 = 0,0545 \text{ МПа}$$

Найденного значения σ_r достаточно, чтобы производить инициирование разрушения при сбросе давления в скважине заполненной жидкостью (водой) при выбранных геометрических параметрах скважины, параметрах нагружения и свойствах газоносной среды. Величина растягивающих напряжений от дейст-

вия отраженной волны будет в два раза больше посчитанной по (1,2,3,4) и подсчитывается таким же образом по формуле (3,4). Однако в приведенном примере не производился учет влияния сил горного давления и потому результаты расчетов (справедливы) можно отнести только к внутреннему контуру скважины. Величина горного давления имеет определяющее значение на величину результирующего радиального напряжения σ_{r_0} . С увеличением внешнего давления p_n результирующие растягивающие напряжения уменьшаются и возникают только в небольшой части приконтурной зоны скважины. С уменьшением времени сброса эта зона увеличивается, но незначительно. На рис. 2 показаны изменения радиальных растягивающих напряжений (кривая 1) от действия падающей волны при сбросе внутренней нагрузки и сжимающих радиальных напряжений (кривые 2,3,4) от постоянно действующей во времени различной величины горного давления при времени сброса равном $t_c = 0,01c$ и внутреннем радиусе скважины $r_0 = 0,1m$.



$$2 - \sigma_r/p_i = 0,1; 3 - \sigma_r/p_i = 0,2; 4 - \sigma_r/p_i = 0,5;$$

Рис.2 – Зависимость максимальных радиальных растягивающих и сжимающих напряжений от глубины проникновения в углепородный массив при действии внутренней нагрузки p_0 и различной постоянной внешней нагрузки p_n

Известно, что для повышения эффективности дегазирующего влияния нетронутого углепородного массива бурят скважины увеличенного диаметра, для того чтобы образовывалась разгруженная зона примерно равная диаметру скважины. В этой зоне напряжения являются сниженными, и чем больше величина снижения внешних напряжений, тем больше будут результирующие радиальные напряжения. При неравнокомпонентном внешнем поле напряжений при определенных соотношениях компонент напряжений на контуре скважины и в ее глубине возникают значительные растягивающие кольцевые напряжения и при взаимодействии с внутренней силой которая перед сбросом нагрузки создает еще дополнительные растягивающие кольцевые напряжения может воз-

никнуть благоприятная ситуация для создания больших растягивающих кольцевых напряжений на внутреннем контуре и в глубине после быстрого сброса внутренней нагрузки.

Выводы: из приведенного примера расчета и графиков зависимости максимальных радиальных растягивающих напряжений от различных варьируемых параметров видно, что существенным фактором является время падения давления в рабочем агенте. Критическим временем падения давления следует считать время $t_c=0,1c$. При таком значении времени сброса трудно достигнуть необходимого значения растягивающих радиальных напряжений даже при широком варьировании параметров в формуле (1),(2),(3), (4). Минимально необходимым временем следует считать время сброса близкое к $0,01c$. Анализ времени падения давления в используемых рабочих агентах, даже с большой скоростью волны звука в них, показывает, что резервы уменьшения времени сброса не так уж велики и следует изыскивать другие возможности уменьшения времени сброса давления в рабочих агентах или использовать другие принципы и способы инициирования газовыделения. Существенным фактором, влияющим на величину растягивающих напряжений является величина горного давления, в особенности, когда оно проявляется в виде сжимающих радиальных и кольцевых напряжений. Тогда разрушение возможно только в небольшой приконтурной зоне. Зоны разгрузки и разнокомпонентность внешнего поля напряжений вокруг скважин могут существенно облегчить процесс создания радиальных растягивающих напряжений. В приведенной работе рассмотрена фаза инициирования, которая предшествует схеме послонного отрыва. Резкое обнажение свободной поверхности при сбросе внутренней нагрузки можно рассматривать как потерю устойчивости механического равновесия [9]. В качестве критерия устойчивости можно использовать условие, полученное на основе критерия хрупкого разрушения Гриффитса – Ирвина – Орована, в работе [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сапегин В. Н. К анализу решения задачи о нестационарном деформировании упругой среды / В. Н. Сапегин, Ларионов Г. И. НАУКОВІ ВІСТІ. СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МЕТАЛУРГІЇ №14 (2011), Дніпропетровськ: НметАУ, 2011. – С. 39-49.
2. Ларионов Г. І. До аналізу результатів чисельного моделювання / Г. І. Ларионов // Матеріали Міжнародної наукової конференції “Математичні проблеми технічної механіки – 2010”, -Дніпродзержинськ, 2010.–С. 153 (19-22 квітня 2010).
3. Лурье, А.И. Теория упругости / А.И. Лурье. – М.: Наука, 1970. – 939с.
4. Сапегин. В. Н. Нестационарное деформирование упругой среды под действием переменной внутренней нагрузки / В. Н. Сапегин // Проблемы обчислювальної механіки і міцності конструкцій: збірник наукових праць дніпропетровського національного університету –2011. – Вип.. 17. – С.239-245.
5. Мухелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М.: Наука, 1966.-707с.
6. Сапегин В.Н. Способ интенсивной дегазации при гидродинамическом воздействии на нагруженный угольный пласт // Геотехн. Механика: Меж вуз, сб, научн. работ, Ин-т геотехнич. Механики НАН Украины – Днепропетровск: 2006, – Вып, 67. – С. 65-73.
7. Николин В.И., Балинченко И.И., Симонов А.А. Борьба с выбросами угля и газа в шахтах – М.: Недра. – 1981. – 300 с.
8. Булат А .Ф. Угленородный массив Донбасса как гетерогенная среда / [А.Ф. Булат, Е.Л. Звягильский, Г.А. Шевелев и др.]. – Киев: «Наукова думка», 2008. – 410с.
9. Петухов И.М. Механизм развязывания и протекания выбросов угля (породы) и газа / И.М. Петухов, Линьков А.М. // Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. – М., Недра, 1978.–С. 3-16.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
СЖИГАНИЯ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ И НЕКОНДИЦИОННЫХ УГЛЕЙ**

В роботі наведено результати теоретичного моделювання спалювання вуглепородних сумішей згідно з основними принципами термодинаміки, що стосуються динаміки виходу газоподібних речовин CH_4 , CO , CO_2 , H_2 і N_2 в залежності від температури нагріву.

**RESULTS OF THEORETICAL DESIGN OF PROCESSES
INCINERATIONS OF COAL SHLAMOV AND NO STANDARD COALS**

In work the results of theoretical design of incineration of ugleporodnih mixtures pursuant to basic principles of thermodynamics, touching the dynamics of output of the gaseous matters CH_4 , CO , CO_2 , H_2 and N_2 depending on the temperature of heating, are resulted.

Функционирование добывающей отрасли сопровождается образованием больших масс отходов, складированных в виде некондиционных углей или жидких угольных шламов, заполняющих шламонакопители. Многолетнее накопление углепородных масс приводит к всестороннему загрязнению окружающей среды: атмосферы, почвы и водных объектов. В то же время, данные отходы с наличием углерода представляют собой техногенные поверхностные месторождения, удобные для разработки или переработки.

С целью энерготехнологической переработки угольных шламов и некондиционных углей, предложенной ИГТМ НАНУ, проведены теоретические исследования терморазложения исходного углепородного сырья для определения конечных продуктов разложения в виде газообразных и конденсированных веществ при различных температурах нагрева [1].

Для теоретического анализа разнообразных химико-технологических и теплотехнических процессов, которые протекают при нагреве углепородных масс, необходимо учитывать большое число факторов, как внутри, так и вне системы «исходная масса – печь (реактор)». Упростить многофакторные связи позволяет компьютерное термодинамическое моделирование при известном составе исходного сырья и заданных режимах температуры и давления.

Существует и используется ряд программ, реализующих законы термодинамики в однородной изотропной системе, в которой распределения температуры и давления одинаковы во всех точках. К следующему упрощению относится то, что свойства идеального газа присущи всем газообразным веществам системы, а также то, что полученные составы веществ на определенной температуре соответствуют стабильному состоянию системы с равномерным распределением в ней всех ее компонентов. Для упрощения принимается также, что компенсация тепловых эффектов проводится за счет внешних источников тепла.

Все эти допущения могут привести к увеличению погрешности расчетов параметров термодинамических процессов при термопереработке углепородного сырья, однако при проведении научных исследований крайне важно выявить основные тенденции распада исходной массы с образованием твердых, жидких и газообразных продуктов.