

*д.т.н. Гайко Г.И.,  
к.т.н. Иванов А.П.,  
Заев В.В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ ЗОЛЫ НА НАДЕЖНОСТЬ ТРУБНОГО КОЛЛЕКТОРА ПОДЗЕМНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА**

*Наведені результати дослідження впливу захисного шару зольного залишку, утвореного у підземному газогенераторі при підземному спалюванні (газифікації) вугільного пласта, на деформування й надійність трубного колектора або ставу, що знаходиться під тиском обрушених порід покрівлі.*

**Ключові слова:** *підземна газифікація вугілля, підземний газогенератор, трубний колектор, зольний залишок, захисний шар.*

*Приведены результаты исследования влияния защитного слоя зольного остатка, образованного в подземном газогенераторе при подземном сжигании (газификации) угольного пласта, на деформируемость и надежность трубного коллектора или става, который находится под давлением обрушенных пород кровли.*

**Ключевые слова:** *подземная газификация угля, подземный газогенератор, трубный коллектор, зольный остаток, защитный слой.*

Одной из основных проблем технологии подземной газификации угольных пластов (ПГУ) являются значительные (до 50%) потери тепловой энергии, которая непроизводительно расходуется на разогрев вмещающих пород подземного газогенератора [1]. В ДонГТУ разработана технология извлечения тепла из зоны горения пласта, предполагающая циркуляцию жидкого теплоносителя (перегретой воды) в трубном коллекторе (ставе), размещенном в почве угольного пласта, с последующей генерацией дополнительной электроэнергии на гидропаровых турбинах [2, 3]. Поскольку основным технологическим элементом разработанного способа утилизации тепла является трубный коллектор (став), большое значение имеет его работоспособность в условиях выгоревшего пространства.

Термохимическая переработка угольного пласта приводит к процессам оседания (обрушения) пород кровли подземного газогенератора с возможностью нагружения труб, в которых циркулирует теплоноси-

тель. Исследования физикомеханических свойств зольного остатка при подземной газификации углей [4] свидетельствуют, что трубный коллектор будет находиться в слое золы толщиной (для условий Донбасса) от 90 до 270 мм и более (при мощности пласта 1 м), причем объем зольного остатка будет возрастать пропорционально увеличению мощности угольного пласта. Поскольку зола может исполнять роль защитного слоя, перераспределяющего и снижающего нагрузку от обрушенных пород кровли, то целесообразно оценить роль зольного остатка как своеобразного буфера, изменяющего давление пород на трубные ставы.

Таким образом, целью эксперимента являлось установление влияния толщины защитного слоя золы, образуемой при сжигании (газификации) угольного пласта в подземном газогенераторе, на деформируемость и надежность работы трубного коллектора.

Для проведения эксперимента был разработан испытательный стенд (рисунок 1), представляющий собой испытательную емкость, изготовленную из отрезка электросварной прямошовной трубы (длиной  $L_{тр} = 300$  мм) круглого сечения (диаметром  $D_{тр} = 530$  мм) с толщиной стенки  $b_{тр} = 10$  мм. К торцу трубы было приварено основание в виде стальной плиты с размерами  $600 \times 600$  мм и толщиной  $b_{п} = 15$  мм, причем по периметру конструкция была усилена ребрами жесткости.

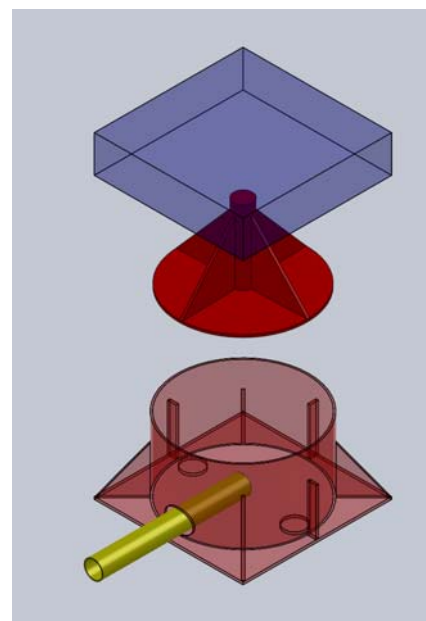


Рисунок 1 – Конструкция испытательного стенда (общий вид)

Трубный став был представлен отрезком стальной трубы длиной 510 мм, диаметром 76 мм с толщиной стенки 3,5 мм (натуральные раз-

меры для одного из технологических вариантов). Для размещения трубного става испытательная емкость была оснащена двумя технологическими отверстиями, в которые входил испытуемый отрезок трубы. Технологические отверстия позволяли вывести провода измерительной аппаратуры, размещенной в испытуемой трубе (рисунок 2). Зазор между трубой и стенкой испытательной емкости изолировался накладкой. Испытательная емкость, оснащенная трубным ставом, заполнялась слоем золы (рисунок 3), который представлял собой натуральный зольный остаток, полученный при сжигании угля. Для снижения влажности золу предварительно прокаливали в муфельной печи.



Рисунок 2 – Вид технологического отверстия с отрезком трубы и измерительной аппаратурой



Рисунок 3 – Испытательная емкость, заполненная золой

На слой золы помещали штамп, диаметр которого соответствовал внутреннему диаметру испытательной емкости. Конструкция штампа представляла собой стальную плиту толщиной  $b_{\text{п}} = 15$  мм с наваренным пуансоном, усиленным ребрами жесткости. Оголовок пуансона был снабжен накладкой воспринимающей нагрузку от штока испытательного пресса ИПС- 500.

Методика испытаний заключалась в следующем. Исследовались напряженное состояние и деформации трубного става в зависимости от величины смещений (сжатия) слоя золы под нагрузкой (аналог давления осевших или обрушенных пород кровли). Для измерения напряженного

состояния металла каждый испытуемый отрезок става оснащался четырьмя тензодатчиками, которые размещали на поверхности трубы попарно на центральных осях. Для фиксации деформаций сжатия трубного става (по вертикальной оси) внутри трубы размещались индикаторные кольца с тензорезисторами сопротивления, показания которых регистрировали прибором СИИТ-3. Показания фиксировали как при нагружении, так и при сбросе нагрузки. Все датчики были предварительно оттарированы на ожидаемые нагрузки. Смещение (сжатие) слоя золы под действием давления на штамп измеряли прогибомером 6ПАО, который взаимодействовал посредством проволоочной связи с закрепленным на штампе рычагом. Давление от штока пресса ИПС-500 передавалось на оголовок штампа и фиксировалось на шкале пресса, а также на промежуточном динамометре ДС – 5. После проведения испытания и высвобождения отрезка трубы штангенциркулем измерялась величина изменения диаметра трубы на участке запредельного прогиба, что с учетом информации о соответствующем давлении позволило дополнительно характеризовать варианты нагружения.

Для анализа влияния толщины зольного слоя на напряженно-деформируемое состояние трубы сравнивались показания при трех вариантах заполнения испытательной емкости золой:

- первый уровень – 90 мм (превышение слоя золы над трубой составляло 14 мм);
- второй уровень – 150 мм (превышение – 74 мм);
- третий уровень – 225 мм (превышение – 149 мм).

Принятые толщины защитного слоя золы обусловлены наиболее характерными средними значениями зольности угольных пластов Донбасса, которые были сгруппированы по трем принятым категориям. Толщина засыпки контролировалась щупом и измерительной линейкой. При каждом испытании использовался новый отрезок трубы, и производилось заполнение испытательной емкости золой.

В процессе нагружения фиксировалось давление пресса на штамп, смещение штампа под нагрузкой (сжатие золы), показания датчиков на поверхности и внутри трубы. Полученные данные в последствии обрабатывались с помощью программы Microsoft Office Excel и наносились на соответствующие графики. Для выявления величины деформаций сжатия, замеренные показания сопротивления датчиков были перерасчитаны в линейные размеры прогиба трубы [5].

Основные обобщенные результаты экспериментов приведены на рисунках 4, 5. На рисунке 4 показаны графики смещений (сжатия) различных слоев золы под нарастающим давлением пресса. Как и следовало ожидать, чем больше толщина зольного слоя, тем большую усадку (смещение) он испытывает под давлением, оказывая при этом возрас-

тающее защитное воздействие на трубу (за счет перераспределения нагрузки на уплотнение и трение частиц золы). Как видно из графиков, при давлении 0,2 МПа (нагрузка пресса на штамп около 5 т) смещения слоя толщиной 90 мм составили 9 мм, при 150 мм – 17 мм, при 225 мм – 28 мм. Таким образом, увеличение толщины зольного слоя в 1,7 раза ведет к росту смещений в 1,9 раза, а при увеличении толщины в 2,5 раза – смещения возрастают в 3,1 раза. При увеличении нагрузок до 0,5 МПа и более (график не приведен) эта пропорция в значительной степени сохранялась, не смотря на резкое замедление роста смещений. Следует отметить ту любопытную особенность, что степень усадки слоя золы не была прямо пропорциональна повышению толщины слоя, а оказалась в 1,12 – 1,24 раза выше (на уровне давлений порядка 0,2 МПа), что еще более усиливает защитные свойства зольного остатка.

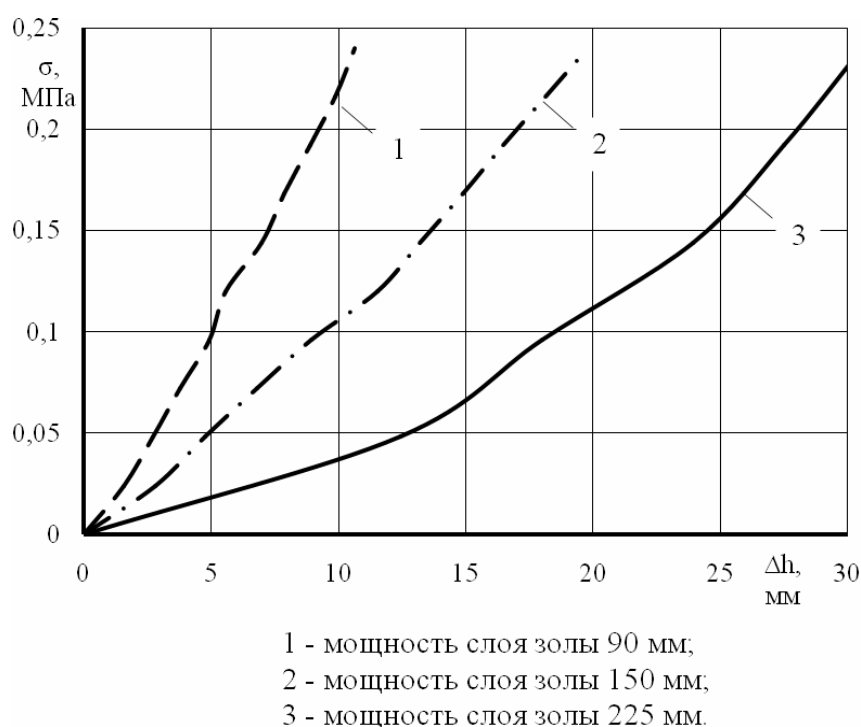


Рисунок 4 – Уплотнение (сжатие) зольных слоев при нагружении штампа прессом

На рисунке 5 показаны графики деформаций (прогибов) отрезков трубного става в зависимости от нагружения при различной толщине защитного слоя золы. Как видно из графиков, упругая стадия работы металла трубы наблюдается при деформациях 0,7 – 1 мм, после чего металл переходит в упруго-пластическую стадию работы. Об этом свидетельствуют специально проведенные эксперименты с разгрузкой металла трубы при прогибах стенки 1 – 2 мм, при которых деформации воз-

врата лишь частично восстанавливали первоначальный диаметр трубы. Поэтому для сравнительного анализа графиков была принята величина прогиба 0,8 мм, как граница упругой зоны работы.

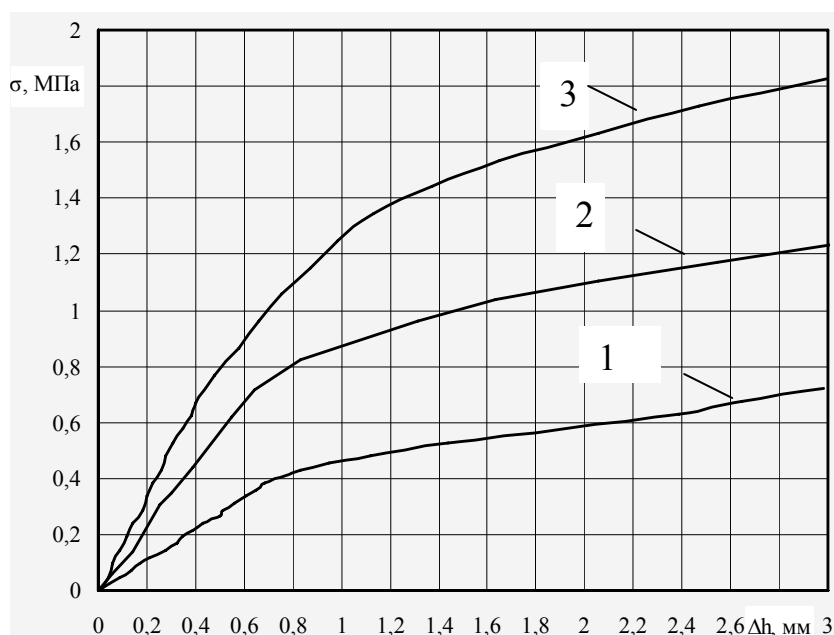


Рисунок 5 – Прогибы трубного става при нагружении штампа прессом:  
1 – толщина зольного слоя 90 мм; 2 – 150 мм; 3 – 225 мм.

Анализ графиков позволяет заключить, что несущая способность отрезка трубного става существенно возрастает с увеличением защитного слоя золы. Так при его толщине 90 мм (кривая 1) потеря упругости трубы наблюдается при давлении около 0,41 МПа, при этом смещения золы оказались в пределах 12 мм, т.е. штамп не вошел в непосредственный контакт с трубой. При толщине защитного слоя 150 мм (кривая 2) предельное давление в упругой стадии составило около 0,80 МПа, а при толщине 225 мм (кривая 3) – 1,1 МПа. Таким образом, увеличение толщины зольного слоя с 90 до 150 мм позволило трубе воспринять почти двукратное увеличение нагрузки, а изменение толщины от 90 до 225 мм позволило увеличить несущую способность трубы в 2,7 раза. Примечательно, что и в упруго-пластической стадии примерно сохраняются те же соотношения.

Показания, которые были сняты с тензодатчиков, размещенных на поверхности испытуемых отрезков труб, показали следующее. Часть датчиков в процессе нагружений вышла из строя, при этом максимальный уровень допустимого давления на штамп не превысил 0,23 МПа. Непосредственное касание поверхности датчиков с зольными фракциями различных размеров и их смещения в ходе проведения эксперимен-

тов приводили к неоднозначным изменениям регистрируемых значений. Наиболее стабильные показатели давали лишь верхние датчики, размещенные на вертикальной оси. Усредненные значения действующих в поверхностных слоях металла (в вершине свода трубы) сжимающих напряжений при давлении на штамп 0,23 МПа выглядят следующим образом: при толщине зольного слоя 90 мм – значение напряжений (в условных единицах) составило 96, при толщине 150 мм – 64, при толщине 225 мм – 50. Таким образом, прослеживается закономерность снижения напряженного состояния металла при увеличении толщины защитного слоя золы, однако в количественном отношении полученный эффект несколько ниже (приблизительно на 30%), чем в случае фиксации деформаций (прогибов) трубы.

Следует отметить, что достигнутые при проведении экспериментов максимальные давления штампа сопоставимы (а при толщине слоя 225 мм даже превышают) фактические величины возможного давления на трубный коллектор осевших пород кровли подземного газогенератора. Это свидетельствует о том, что образованный в процессе выгорания пласта слой золы способен надежно защитить трубные ставы при обрушении (оседании) пород кровли и исключает возможность разрушения труб.

### **Библиографический список**

1. *Теория и практика термохимической технологии добычи и переработки угля: монография.* / Под общ. ред. О.В. Колоколова. – Днепропетровск: НГА Украины, 2000. – 281 с.

2. *Гайко Г.И. Концепция шахты-электростанции, предполагающей подземное сжигание угольных пластов* / Г.И. Гайко, В.А. Касьянов, С.М. Семикин // *Уголь Украины.* – 2006. – №7. – С. 3 – 5.

3. *Гайко Г.И. Новий спосіб отримання електроенергії при підземній газифікації (спаленні) вугільних пластів* / Г.И. Гайко, В.В. Заєв // *Донецький вісник НТШ.* Т. 29. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2010. – С. 64 – 67.

4. *Турчанинов И.А. О некоторых физико-механических свойствах зольного остатка при подземной газификации углей* // *Подземная газификация углей.* – М.: Углетехиздат, 1956. – С. 55 – 58.

5. *Касаткин Б.С. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений* / Б.С. Касаткин, А.Б. Кудрин, В.А. Пивторак – Киев: Наукова думка, 1981. – 375с.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Должиковым П.Н.*