

УДК 614.841.345

Н.Н. Хасанов Ф.Х. Саидов С.Ш. Тагойбеков

**ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕНА
НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ
СОСТОЯНИЕ ГРУНТОЦЕМЕНТА**

Рассмотрено напряженно-деформированное состояние грунтоцемента при неравномерном распределении температуры и влажности в ее слое под воздействием объемных сил с определенным потенциалом. Определено, что значительное влияние на напряженное состояние оказывает модуль упругости и линейная усадка. Также выявлено влияние различных факторов на трещинообразование грунтоцемента.

Ключевые слова: напряжение – деформация – температура – влажность – тепло-массообмен - модуль упругости – трещинообразование.

С каждым годом в подземное строительство все шире используются глинистые грунты, закрепленные цементом. Обладая рядом технико-экономических преимуществ, слои из грунтоцемента вследствие повышенной жесткости склонны к трещинообразованию, что снижает прочность и долговечность дорожных одежд.

В слоях из грунтоцемента непрерывно происходит изменение тепло- и массосодержания (водяной пар, жидкая фаза воды), что вызывает неравномерное распределение температуры и влажности по толщине. Возникающие при этом напряжения, часто превышающие напряжения от механических нагрузок, вызывают образование трещин.

При неравномерном распределении температуры и влажности в слое грунтоцемента возникают объемные силы с некоторым потенциалом Π .

$$\Pi = 2G \frac{1+\mu}{1-2\mu} \alpha [t(Z,T) - t_n]; \quad (1)$$

$$\Pi = 2G \frac{1+\mu}{1-2\mu} \alpha [W(Z,T) - W_n], \quad (2)$$

где G — модуль сдвига; μ — коэффициент Пуассона; α — коэффициент линейного расширения слоя грунтоцемента за счет изменения тепло- или массосодержания; $t(Z,T)$, $W(Z,T)$ — функции распределения температуры и влажности во времени по толщине слоя h ; W_n , t_n — начальная влажность и температура в слое грунтоцемента.

Используя уравнения теории упругости в перемещениях при действии на слой сил, вызванных потенциалами (1) и (2), определим отличные от нуля компоненты тензора напряжений. Для случая, когда в слое изменяется одновременно температура и влажность, имеем

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{2G}{1-2\mu} \left\{ \mu \frac{du_3}{dz} - \alpha(1+\mu)[t(Z,T) - t_n] \right\}; \quad (3)$$

$$\sigma_z = \frac{2G}{1-2\mu} \left\{ (1-\mu) \frac{du_3}{dz} - (1+\mu) \alpha [t(Z, T) - t_n] \right\}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial u_3}{\partial z} = \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha \left\{ \frac{T(k_1-k)z}{h} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2h^2}{(\pi n)^3 a} \left[1 - e^{-\left(\frac{\pi n}{h}\right)^2 a T} \right] \right\} \times$$

$$\text{где } \times \left\{ \left[k - k_1(-1)^n \right] + b \left[m - m_1(-1)^n \right] \left[1 - e^{-\left(\frac{\pi n}{h}\right)^2 a_1 T} \right] \right\} \times \left\{ \sin \frac{\pi n z}{h} + \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha (t_n + kT) \right\} \quad (5)$$

Если в слое грунтоцемента температура изменяется незначительно, а происходит только массообмен, то

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{2G}{1-2\mu} \left\{ \mu \frac{du_3}{dz} - (1+\mu) \alpha [W(Z, T) - W_n] \right\}; \quad (6)$$

$$\sigma_z = \frac{2G}{1-2\mu} \left\{ (1-\mu) \frac{du_3}{dz} - (1+\mu) \alpha [W(Z, T) - W_n] \right\}, \quad (7)$$

$$\text{где } \frac{du_3}{dz} = \alpha \frac{1+\mu}{1-\mu} \left\{ \frac{(m-m_1)ZT}{h} + \frac{mh}{6a_1} \left(\frac{Z^3}{h^2} - \frac{3Z^3}{h} + 2Z \right) - \frac{m_1 h}{2a_1} \left(\frac{Z^3}{3h^2} - \frac{Z}{h} \right) + \frac{2h^2}{(\pi n)^3 a_1} \sum_{n=1}^{\infty} \left[m - m_1(-1)^n \right] \times \left[e^{-\left(\frac{\pi n}{h}\right)^2 a_1 T} \sin \frac{\pi h z}{h} \right] - mT \right\} \quad (8)$$

где a, a_1 — коэффициент температуро- и влагопроводности; t, t_1 — коэффициенты, характеризующие интенсивность изменения влажности W и температуры t на верхней и нижней границах слоя грунтоцемента.

Поля влажности $W(Z, T)$ и температуры $t(Z, T)$ в (3), (4), (6), (7) рассчитываются по разработанным ранее формулам [1, 2].

Выражения (3), (4), (6), (7) были проанализированы на ПЭВМ при различных значениях параметров этих уравнений.

Наиболее интенсивно процесс трещинообразования протекает сразу же после устройства слоя грунтоцемента и ухода за ним, когда наблюдается наибольший тепломассообмен.

Основное влияние на трещинообразование оказывает характер массо-обмена на границах слоя. При устройстве слоев наибольший массообмен происходит в верхней плоскости слоя за счет испарения влаги. Напряжения на поверхности слоя примерно в 10 раз больше, чем в основании.

В начале процесса твердения в результате испарения влаги максимальными являются растягивающие напряжения σ_z . По мере снижения интенсивности испарения растягивающие напряжения σ_z снижаются; напряжения σ_x и σ_y вначале возрастают, а затем падают.

Напряжения за счет изменения температуры более значительны. Возрастание температуры на поверхности слоя способствует интенсивному нарастанию напряжений. Минимум всех напряжений отмечается на 6-10-е сут, когда достигается равномерное распределение влаги в слое.

Выявлено влияние различных факторов на трещинообразование.

Коэффициент Пуассона оказывает незначительное влияние. Так, при изменении μ на $\pm 0,1$ наибольшее изменение в напряжениях для середины слоя (0,10—0,15 МПа) наблюдается в первые сутки твердения; в дальнейшем разница в напряжениях практически незначительна.

С увеличением коэффициента влагопроводности a_1 значения σ_z уменьшаются, а σ_x и σ_y возрастают. Влияние a достаточно ощутимое. Так, для $T=2$ сут при уменьшении a_1 на порядок 10^{-1} , возрастают в 20-40 раз, при этом σ_x и σ_y существенно увеличиваются. В процессе твердения интенсивность испарения падает, а влагопроводность возрастает, что вызывает большие напряжения σ_x и σ_y и образование трещин.

Значительное влияние на напряженное состояние оказывает модуль упругости слоя. Так, при увеличении модуля с $E=10^6$ МПа до $E=10^7$ МПа напряжения в слое возрастают в 10 раз. Поэтому увеличение содержания цемента, что часто практикуется для повышения прочности грунтоцемента, увеличивает также возможность

трещинообразования. В этой связи весьма эффективно комплексное укрепление грунтов, обеспечивающее не только экономию цемента, но и повышение трещиностойчивости.

Существенное влияние на напряженное состояние оказывает линейная усадка. Регулируя скорость испарения влаги W , можно изменять величину усадки.

Процесс диффузии водяного пара, а частично и жидкой фазы воды, происходит и на нижней границе слоя грунтоцемента (особенно при укладке на грунт полотна с малой влажностью). Поэтому трещинообразование возможно и в основании слоя.

Таким образом, все параметры, входящие в σ_x , σ_y , σ_z обуславливаются преимущественно интенсивностью процесса теплообмена на границах слоя грунтоцемента. С увеличением скорости влагоотдачи напряжения в слое во времени значительно возрастают до определенного момента, что вызывает образование трещин.

Поэтому при уходе необходимо стремиться не только к тому, чтобы в возможно короткий срок обеспечить требуемый модуль упругости слоя, но и к тому, чтобы исключить образование в слое трещин.

Анализ процесса трещинообразования показывает, что не всегда наилучшим способом ухода в процессе твердения является способ обработки верхней поверхности слоя грунтоцемента пленкообразующими веществами. При определенных метеорологических условиях и начальной влажности целесообразно применять ускоренные режимы равномерного удаления влаги с грунтоцемента (открытая поверхность, слой влажного песка и др.), обеспечивающие быстрое нарастание прочности слоя и трещиностойчивость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лыков А.В.* Теплообмен: Справочник. — М.: Энергия, 1978. — 408 с.
2. *Цой П.В.* Системные методы расчета краевых задач теплообмена. Прямые и обратные задачи нестационарной теплопроводности и термоупругих напряжений. Гидродинамика и теплообмен в каналах сложного профиля. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2005. -568 с. **ПЛАЭ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Хасанов Н.Н. — старший преподаватель кафедры «Подземные сооружения, основания и фундаменты»,
Саидов Ф.Х. — ассистент кафедры «Строительная механика и сейсмостойкость сооружений», заместитель декана по научной работе факультета «Строительства и архитектуры»,
Тагойбеков С.Ш. — ассистент кафедры «Теплотехника и теплотехнические оборудования», Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ВЫРАБОТАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СЪЕМКИ ПАРАМЕТРОВ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ПОТОКА ВДОЛЬ ЛАВЫ (№880/04-12 от 23.01.12)

Каркашадзе Георгий Григорович, профессор, Московский государственный горный университет, g-karkashadze@mail.ru,

Иванов Юрий Михайлович, технический директор ОАО «СУЭК-Кузбасс»,

Ермак Геннадий Павлович, начальник Управления по надзору в угольной промышленности (Ростехнадзор), тел.: (495) 736-94-62.

В основе Методики лежат данные газовой съемки, проводимые в ремонтную смену. Методика базируется на законе сохранения массы вентиляционного потока вдоль лавы, включая притоки метана в исходящую струю из выработанного пространства, очистного забоя и вмещающих пород. Исходные значения определяют по результатам шахтных замеров скорости вентиляционного потока и концентрации метана по длине лавы с переменным поперечным сечением. Резюльтирующие показатели это концентрация метана в воздухе, поступающего в исходящую струю из выработанного пространства, а также массовые притоки метана из угольного забоя и вмещающих пород. Практическая ценность полученных результатов обработки заключается в оперативном принятии решений по интенсификации дегазации выработанного пространства.

Ключевые слова: уголь, пласт, метан, концентрация, выработанное пространство, лава.

DEFINITION OF CONCENTRATION OF METHANE IN THE DEVELOPED SPACE BY RESULTS OF SHOOTING OF PARAMETERS OF A VENTILATING STREAM ALONG A LAVA

Karkashadze G. G, IvanovY.M. and Ermak G. P.

At the heart of the Method the data of measurements of an air stream, spent to repair change lies. The Method is based on the law of preservation of weight of a ventilating stream along a coalface, including inflows of methane to a proceeding stream from the developed space, a coalface and containing rocks. Reference values define by results of mine measurements of speed of a ventilating stream and concentration of methane on length of a coalface with variable cross-section section. Resultant indicators it is concentration of methane in air, arriving in a proceeding stream from the developed space, and also mass inflows of methane from a coalface and containing rocks. Practical value of the received results of processing consists in operative decision-making on an intensification of decontamination of the developed space.

Key words: coal seam, methane, the concentration, the developed space, coalface.