

6. Степанова Г.В. Нестационарное отражение плоской ударной волны от жесткой стенки // Физика горения и взрыва. – 1976. – № 3. – С. 469–471.

7. Лучко И.А., Ремез Н.С. Взаимодействие цилиндрических взрывных волн в вязкопластической среде с неподвижной преградой // Прикл.механика, 1995. - Т. 31. – № 5. – С. 87–93.

8. Каширский А.В., Орленко Л.П., Охитин В.Н. Влияние уравнения состояния на разлет продуктов детонации // Прикл. мех. и техн. физика. – 1973. – №2. – С. 71–74.

9. Ландау Л.Д., Станюкович К.П. Об изучении детонации конденсированных взрывчатых веществ // Докл. Акад. наук СССР, 1945. – Т. 46. – № 9. – С.112–117.

10. Уилкинс М.Л. Расчет упруго-пластических течений // Вычислительные методы в гидродинамике. – М.: Мир, 1967. – С. 212–263.

УДК 624.539.376

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УПРУГО-ВЯЗКОЙ ДИАФРАГМЫ СО СПЛОШНЫМ УПРУГО-ВЯЗКИМ ОСНОВАНИЕМ ПРИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ С УЧЕТОМ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ

*Тадеуш Рембеляк, докт.-инж.
(Краковская горно-металлургическая академия)*

Розглянуто сумісну роботу пружно-в'язкої бетонної діафрагми з суцільною пружно-в'язкою основою з гірських порід з урахуванням фактора часу, тобто на основі теорії спадкової повзучості і старіння.

При строительстве подземных горнотехнических сооружений актуальной является проблема расчета совместной работы упруго-вязкой диафрагмы из бетона или железобетона и сплошного упруго-вязкого основания из горных пород. При этом следует учитывать эффект ползучести материалов основания и диафрагмы, проявляющийся вследствие нарастания деформаций тел диафрагмы

и основания во времени в результате длительного воздействия постоянной и временной нагрузок.

Ползучесть основания часто приводит к значительному увеличению (в 10 раз и более) прогибов и изгибающих моментов в сечении диафрагмы, в связи с чем возникает необходимость учитывать влияние ползучести на работу системы основание–диафрагма.

Следует отметить, что вопросы определения напряжений и деформаций системы основание–диафрагма с учетом ползучести материалов диафрагмы и основания во времени являются довольно сложными и до настоящего времени недостаточно изученными. Установление связи между напряжением и деформацией и переход к реологическим уравнениям зачастую приводят к большим трудностям алгоритмического характера. Отсутствуют экспериментальные данные по определению величин, входящих в расчетные формулы. До сих пор не исследована степень точности существующих упрощенных способов расчета по сравнению со строгими решениями.

Все это вызывает необходимость использования доступных численных методов расчета, которые учитывали бы процессы деформирования во времени материалов диафрагмы и ее основания.

Для решения подобных задач используются основные положения теории упруго-ползучего тела (наследственной теории старения).

Реологические свойства материалов диафрагмы и основания ~~определяются~~ ~~характеристическими~~ ~~ползучести~~. Предлагаемое ~~основание~~ принимается по модели Винклера, но с переменным коэффициентом жесткости, определяемым с учетом неоднородности геологического строения основания, формы подошвы диафрагмы, ее размеров и других факторов.

При исследовании работы системы основание–диафрагма с применением теории ползучести удобно рассматривать отдельно:

напряженное состояние, вызванное внешними силами;

напряженное состояние, вызванное вынужденными деформациями;

напряженное состояние, вызванное воздействием сейсмических, импульсных и ударных нагрузок или их комбинации.

Строгие решения таких задач сводятся к решению интегро-дифференциального уравнения совместности деформаций системы основание-диафрагма.

Для расчета упруго-вязкой диафрагмы на сплошном упруго-вязком основании с учетом длительных деформаций примем следующие условия:

для деформаций ползучести материалов диафрагмы и основания действует закон наложения;

между мгновенными деформациями и напряжениями, а также между деформациями ползучести и напряжениями ползучести существует линейная зависимость;

материал диафрагмы изотропный и однородный;

абсолютные величины деформаций (упругих и остаточных) не зависят от знака напряжений;

все виды полных единичных относительных деформаций (удельной осевой деформации $\epsilon(t, \tau)$, удельной поперечной деформации $\epsilon_1(t, \tau)$, удельной деформации сдвига $\epsilon_2(t, \tau)$) характеризуются одинаковой зависимостью от времени;

модуль упруго-мгновенной деформации материала диафрагмы $E(\tau)$ и коэффициент постели $C(\tau)$ изменяются во времени;

размеры сечения диафрагмы малы по сравнению с ее длиной;

скорость деформации ползучести материалов диафрагмы и основания различна;

реологические свойства материалов диафрагмы и основания описываются характеристиками ползучести $\varphi(t, \tau)$ и $\varphi_{1,0}(t, \tau)$, значения которых можно получить экспериментальным и аналитическим путем.

Упруго-мгновенный коэффициент постели основания из горных пород равен

$$C_{i(t)} = \frac{E_{0(t)}}{\omega \sqrt{F(1 - \mu_0^2)}}, \quad (1)$$

где ω – коэффициент формы подошвы диафрагмы (для круглой подошвы $\omega = 0,79$, для прямоугольной подошвы $\omega = 1$); F – площадь передачи нагрузки; $E_{0(t)}$ – модуль деформации материала основания, вычисляемый по формуле

$$E_{0(t)} = \frac{N}{S_{(t)}b} (1 - \mu_0^2), \quad (2)$$

где μ_0 – коэффициент Пуассона материала основания; N – нагрузка на диафрагму; $S_{(t)}$ – осадка в течение отрезка времени t ; b – ширина подошвы диафрагмы.

Упруго-мгновенная деформация диафрагмы зависит от возраста материала диафрагмы, а деформация ползучести материала зависит от возраста и продолжительности действия нагрузки.

Следует отметить, что между реологическими явлениями старения материалов диафрагмы и основания имеются существенные различия. Старение горной породы (материала основания) является результатом ее деформирования под действием внешней нагрузки, передаваемой диафрагмой, а также уменьшения сил сцепления вследствие протекания физико-химических процессов. Старение бетона (материала диафрагмы) происходит без какого-либо внешнего силового воздействия и является результатом внутренних физико-химических процессов, связанных с твердением и разрушением цементного камня. Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что с увеличением возраста материала диафрагмы модуль упруго-мгновенной деформации $E_{(t)}$ возрастает. При этом скорость изменения $E_{(t)}$ с увеличением возраста падает, а величина $E_{(t)}$ асимптотически приближается к начальной величине E_0 . Тогда значение $E_{(t)}$ может быть аппроксимировано зависимостью

$$E_{(t)} = E_0(1 - \beta e^{-\alpha t}), \quad (3)$$

где E_0 – начальный модуль деформации материала диафрагмы, определяемый после твердения бетона в течение 28 суток; α и β – экспериментальные постоянные материала диафрагмы.

Величина $E_{(t)}$ зависит от величины напряжения, при котором измерялись деформации. Определение зависимости модуля упругости одновременно от напряжения и возраста бетона является весьма трудной задачей, требующей тщательного исследования. Однако современная теория ползучести бетона позволяет для практических расчетов принимать значения $E_{(t)}$, определяемые по формуле (3). Между мерой ползучести $C_{(t, \tau)}$ и характеристикой ползучести $\varphi(t, \tau)$ существует линейная зависимость

$$\varphi(t, \tau) = E_{(t)} C_{(t, \tau)}. \quad (4)$$

Характеристика ползучести представляет собой отношение деформации ползучести в момент времени t , вызванной единичным напряжением, действующим в течение времени τ , к соответствующей упруго-мгновенной деформации. Значение $\varphi(t, \tau)$ можно представить в виде произведения двух функций:

$$\varphi(t, \tau) = \varphi_{(\infty, \tau)} f(t - \tau) = \varphi_{(\infty, \tau)} [1 - e^{-\gamma_m(t-\tau)}], \quad (5)$$

где γ_m – плотность материала диафрагмы.

Тогда полное относительное совместное перемещение диафрагмы и основания определяется следующими уравнениями:

а) для диафрагмы:

$$\varepsilon(t, \tau) = \frac{1}{E_{(t)}} \left[1 + \varphi_{(\infty, \tau)} (1 - e^{-\gamma_m(t-\tau)}) \right]; \quad (6)$$

б) для основания:

$$\varepsilon_0(t, \tau) = \frac{1}{C_{(t)}} \left[1 + \varphi_{1,0}(\infty, \tau) \left(1 - e^{-\gamma_0(t-\tau)} \right) \right]. \quad (7)$$

Если для практических расчетов использовать линейный закон деформирования материалов диафрагмы и основания, то деформацию ползучести можно описать следующим уравнением:

$$\varepsilon_1(t - \tau_0) = \sigma_0 \varepsilon(t, \tau) + \int_{\tau_0}^t \frac{\partial \sigma}{\partial t} \varepsilon(t, \tau) dt = \sigma(t) \varepsilon(t, \tau) - \int_{\tau_0}^t \sigma(\varepsilon) \left[\frac{\partial}{\partial t} \varepsilon(t, \tau) \right] dt. \quad (8)$$

Уравнение (8) является интегральным уравнением Вольтерра второго рода относительно некоторых напряжений $\sigma(t)$. Его решение имеет вид

$$\sigma(t) = \varepsilon_1(t) E_{(t)} + \int_{\tau_0}^t \varepsilon_1(\tau) R(t, \tau) d\tau, \quad (9)$$

где $\varepsilon_1(t)$ – деформация во времени t , $\varepsilon_1(\tau)$ – то же, во времени τ .

Обозначим $\frac{\partial}{\partial t} \varepsilon(t, \tau) = K(t, \tau)$, тогда $R(t, \tau)$ является резольвентой ядра $K(t, \tau)$. Ядро уравнения и его резольвенты связаны между собой зависимостью

$$K(t, \tau) - R(t, \tau) = \int_{\tau_0}^t R(\varphi_{1,0}, t) K(t, \varphi_{1,0}) d\varphi_{1,0} = \int_{\tau_0}^t R(t, \varphi_{1,0}) K(\varphi_{1,0}, \tau) d\varphi_{1,0}. \quad (10)$$

Ядро наследственности и старения описывается следующими уравнениями:

а) для диафрагмы:

$$K(t, \tau) = -E_{(t)} \frac{\partial}{\partial t} \frac{1 + \varphi_{1,0}(\infty, \tau) \left(1 - e^{-\gamma_0(t-\tau)} \right)}{E_{(t)}}; \quad (11)$$

б) для основания:

$$K_0(t, \tau) = -C_{(t)} \frac{\partial \left[1 + \varphi_{1,0}(\infty, t) (1 - e^{-\gamma_0(t-\tau)}) \right]}{\partial \tau} \frac{1}{C_{(t)}}, \quad (12)$$

где $\varphi(t, \tau)$ и $\varphi_{1,0}(\infty, t)$ – реологические свойства материалов диафрагмы и основания, определяемые экспериментальным или аналитическим путем.

Выводы

1. Совместную работу упруго-вязкой диафрагмы из бетона со сплошным упруго-вязким основанием из горных пород необходимо рассматривать с учетом фактора времени, т.е. на основе теории наследственной ползучести и старения. Для этого требуется определить основные характеристики материалов диафрагмы и основания с учетом их реологических параметров.

2. Рассматривая (с незначительными допущениями) материал диафрагмы как изотропный и однородный, а величины деформаций – не зависящими от знака напряжений, изменяющихся во времени, можно определить коэффициент постели и модуль деформации и связать их с реологическими явлениями старения. Несмотря на коренные различия в процессах старения материалов диафрагмы и основания, уравнения, описывающие эти процессы, можно включить в интегро-дифференциальное уравнение наследственной ползучести и решить совместно.

3. Характеристики ползучести диафрагмы и основания, вызванной единичным напряжением, рассматриваются как произведения функций времени и функций деформации, которые определяются исходя из реологических параметров материалов диафрагмы и основания.

4. Составлены интегральные уравнения второго рода относительно некоторых значений напряжений, описывающие совместную работу диафрагмы и основания исходя из теории наследственной ползучести в линейной постановке задачи. Установлена связь между ядром и резольвентами интегрального уравнения второго рода.

5. Основные реологические характеристики материалов диафрагмы и основания используются для составления интегро-дифференциальных уравнений совместной работы системы основание–диафрагма.

1. *Rembielak T., Hromek A., Platek J.* Zapobieganie pożarom endogenicznym i odwalon w scianie na drodze wyprzedzajacego iniekcynego uszczelniania i wzmacniania rozluzewanego gorotworu // Miedzynarodowa Konferencja III Szkola Geomechaniki. – Gliwice–Ustron, Polska, listopad 23–26, 1997. – s. 227–238.

2. *Rembielak T., Hromek A., Platek J.* Zastosowanie iniekcji uszczelniania i wzmacniania gorotworu w otoczeniu przecznicy 9 KWK "Kazimierz - Juliusz", przed i podczas, jej udrazniania, dla ograniczenia mozliwosci odnowienia i powstania nowych pozarow endogenicznych // VII Miedzynarodowe Sympozjum Geotechnika – Geotechnics 96. – Gliwice–Ustron, Polska, pazdziernik 22–25, 1996. – s. 159–170.

УДК 624.539.389.3

ПРОЦЕСС КОНСОЛИДАЦИОННОГО УПЛОТНЕНИЯ КАРБОНАТНЫХ СЛАНЦЕВ С УЧЕТОМ СТАРЕНИЯ СКЕЛЕТА ПОРОДЫ

Богдан Ковалец, докт.-инж. (Силезский технический университет)

Розглянуто розв'язання задачі консолідаційного ущільнення багатofазного масиву з урахуванням повзучості і старіння скелета породи. Отримано реальні параметри процесів, що протікають у масиві при експлуатації споруд, складених мулісто-карбонатно-сланцевими породами.

Экспериментальные исследования показывают, что карбонатные сланцы, как и другие горные породы, склонны к выветриванию. Периодическое замерзание и оттаивание породы, ее увлажнение и высыхание, изменение атмосферных условий приводят к измельчению крупных частиц и вызывают