

УДК 624.15.001

Шашенко А.Н., д-р техн. наук, профессор**Шаповал В.Г.**, д-р техн. наук, профессор
(Государственное ВУЗ «НГУ»)**Моркляник Б.В.**, канд. техн. наук, доцент
(НУ «ЛП»)**Шаповал А.В.**, канд. техн. наук, доцент
(ГВУЗ «ПГАСА»)

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛУПРОСТРАНСТВА, ВНУТРИ КОТОРОГО НАХОДИТСЯ ТОЧЕЧНЫЙ ИСТОЧНИК ДАВЛЕНИЯ

Шашенко О.М., д-р техн. наук, професор**Шаповал В.Г.**, д-р техн. наук, професор
(Державний ВНЗ «НГУ»)**Моркляник Б.В.**, канд. техн. наук, доцент
(НУ «ЛП»)**Шаповал А.В.**, канд. техн. наук, доцент
(ДВНЗ «ПДАБА»)

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПІВПРОСТОРУ, ВСЕРЕДИНІ ЯКОГО ЗНАХОДИТЬСЯ ТОЧКОВЕ ДЖЕРЕЛО ТИСКУ

Shashenko A.N., D.Sc. (Tech.), Professor**Shapoval V.G.**, D.Sc. (Tech.), Professor
(State HEI "NMU")**Morklyanik B.V.**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor
(NU «LP»)**Shapoval A.V.**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor
(PSACEA)

STRESS-DEFORMED STATE HALF- SPACE WHICH INCLUDES A PRESSURE POINT SOURCE INSIDE

Аннотация. Целью исследования было рассмотрение возможности адекватного определения напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтовых оснований при появлении в нем источника давления. Существующий в настоящее время подход основан на использовании фундаментальных решений и принципа суперпозиции. Однако отсутствует решение задачи по определению НДС грунтовых оснований, учитывающее происходящие в них фазовые переходы, например, замерзание поровой жидкости.

В работе представлено точное аналитическое решение фундаментальной задачи о НДС упругого полупространства, внутри которого расположен точечный источник давления.

Полученное фундаментальное решение позволит расширить класс задач по определению НДС грунтовых оснований и массивов горных пород задачами, в которых причиной возникновения напряжений и деформаций являются протекающие в них физические процессы, обусловленные фазовыми переходами. К таким относятся задачи об определении НДС грунтовых оснований и приконтурного массива вокруг горных выработок при морозном пучении грунта, высоконапорном инъецировании, искусственном замораживании грунта, пучении

горных пород, оценке напряженно-деформированного состояния матрицы в процессе роста кристаллов из твердой фазы и т.д.

Ключевые слова: грунтовое основание, массивов горных пород, напряженно-деформированного состояния, фазовый переход.

Введение. Задача успешного развития добычи полезных ископаемых, повышение уровня безопасности труда на подземных горных работах, улучшение технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий, безопасная отработка месторождений в сложных горно-геологических и техногенных условиях всегда имела приоритетное значение для экономики Украины.

Вторым важным направлением развития современных технологий, непосредственно связанным с развитием геомеханики и строительства, является освоение подземного пространства – расположение под землей объектов различного назначения, развитие подземной инфраструктуры крупных городов-мегаполисов, таких как Киев, Днепропетровск, Донецк, Харьков и др.

Кроме того, обострилась проблемы обеспечения устойчивости природных склонов, оползнеопасных участков вследствие масштабного строительства и повышения уровня грунтовых вод, а также необходимость геомеханического обоснования строительства в сложных геотехнических условиях.

Основой принятия технологически рациональных, экономически целесообразных и технически безопасных решений служит глубокое знание объекта эксплуатации, то есть, свойств, состояния и особенностей поведения грунтов и горных пород, детальная оценка геомеханического состояния породного массива, прогнозирование его поведения при техногенных процессах с учетом внешних факторов, научное обоснование технологий строительства и обеспечения длительной устойчивости наземных, полузаглубленных и подземных объектов. На сегодня эти задачи еще далеки от успешного решения и предусматривают проведение соответствующего комплекса теоретических и прикладных работ.

Анализ состояния проблемы адекватной оценки и прогноза поведения породных массивов в геотехнике и геомеханике. Проблема адекватного определения напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтовых оснований весьма актуальна при проектировании работ методом замораживания, создания ледопородных противодиффузионных завес, прокладке в водонасыщенных грунтах коллекторов тепловых насосов, высоконапорном инъецировании грунтовых оснований и породных массивов, пучении горных пород [1, 2, 3, 4, 5, 6] и др.

В настоящее время при определении НДС грунтовых оснований широко применяется подход, основанный на использовании т.н. фундаментальных решений и принципа суперпозиции.

В частности, действующие в настоящее время нормы базируются на расчетных таблицах, построенных с использованием фундаментальных решений А. Буссинеска, М. Фламана, А. Миндлина, И. Ченя и т.д. [7, 8, 9].

При этом отсутствует фундаментальное решение задачи, позволяющее определять НДС грунтовых оснований, обусловленное происходящими в них фазовыми переходами (например, замерзанием поровой жидкости). На решение

данной проблемы направлены изложенные ниже материалы исследований.

При написании настоящей статьи преследовалась цель получить точное аналитическое решение задачи об определении НДС упругого невесомого полупространства, внутри которого вследствие объемной деформации возник источник давления. При этом физическая природа возникновения данного источника может быть какой угодно, важно лишь, чтобы в рассматриваемой точке имело место избыточное давление.

Постановка задачи исследований. Задача исследований была сформулирована так.

1. Известны деформационные свойства грунтового основания (модуль деформации E и коэффициент Пуассона ν или т.н. константы Ламе λ и G).

2. Известны координаты источника давления. Для определенности положим в цилиндрической системе координат с центральной симметрией глубину расположения источника $z = \xi$ и радиус $r = 0$ (рис. 1).

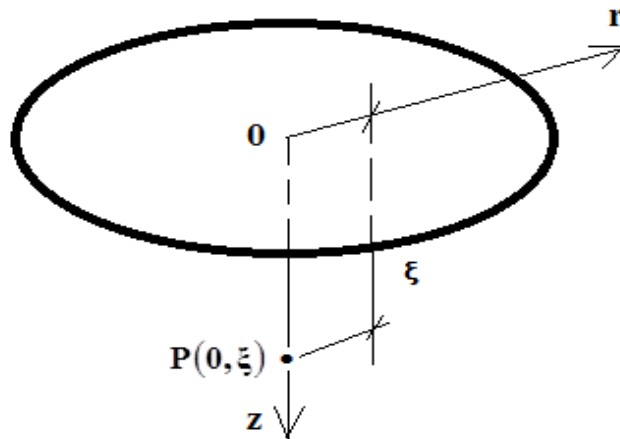


Рисунок 1 – К определению НДС основания

3. Известны обусловленные фазовым переходом (например, замерзанием поровой жидкости) относительные деформации основания $\varepsilon_{z,1}$ и $\varepsilon_{r,1}$ (в настоящей работе предполагается, что $\varepsilon_{z,1} = \varepsilon_{r,1} = \varepsilon_0$).

4. Известны деформационные свойства точки грунтового основания, в которой имеет место фазовый переход (т.е. его модуль деформации E_1 и коэффициент Пуассона ν_1 или т.н. константы Ламе λ_1 и G_1).

5. На верхней границе полупространства отсутствуют нормальные и касательные напряжения.

6. При неограниченном возрастании глубины напряжения и деформации стремятся к нулю.

Требуется определить возникшие в основании в результате действия источника давления напряжения и деформации (т.е. его НДС).

Изложение основного материала исследования. Рассмотрим грунтовое основание, в котором в точке $M(0, \xi)$ действует обусловленный замерзанием поровой жидкости источник давления (рис. 1).

Давление, обусловленное фазовым переходом поровой жидкости равно:

$$P(r, z) = \varepsilon_0 \cdot (3 \cdot \lambda_1 + 2 \cdot G_1) \cdot \frac{\delta(r)}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot \delta(z - \xi). \quad (1)$$

Здесь: $P(r, z)$ – давление в рассматриваемой точке; ε_0 – объемная деформация основания, обусловленная замерзанием поровой жидкости (имеет размерность $[м^3]$); λ_1 и G_1 – упругие константы Ламе замерзшей области основания; r и z – координаты; ξ – глубина, на которой расположен источник давления; $\delta(x)$ – дельта-функция Дирака [12].

Для определения НДС основания используем известную систему уравнений вида:

$$\begin{aligned} (\lambda + 2 \cdot G) \cdot \frac{\partial e}{\partial r} + 2 \cdot G \cdot \frac{\partial \omega}{\partial z} &= \frac{\partial P}{\partial r}; & (\lambda + 2 \cdot G) \cdot \frac{\partial e}{\partial z} - \frac{2 \cdot G}{r} \cdot \frac{\partial(\omega \cdot r)}{\partial r} &= \frac{\partial P}{\partial z}; \\ \frac{\partial P}{\partial t} &= c_v \cdot \Delta P - \frac{\beta}{3} \cdot \frac{\partial}{\partial t} \sigma_{kk}; & \sigma_{zz} &= 2 \cdot G \cdot \varepsilon_z + \lambda \cdot e - P; \\ \sigma_{rr} &= 2 \cdot G \cdot \varepsilon_r + \lambda \cdot e - P; & \sigma_{\theta\theta} &= 2 \cdot G \cdot \varepsilon_{\theta} + \lambda \cdot e - P; & \tau_{rz} &= G \cdot \gamma_{rz}; \\ \varepsilon_r &= \frac{\partial U}{\partial r}; & \varepsilon_z &= \frac{\partial W}{\partial z}; & \varepsilon_{\theta} &= \frac{U}{r}; & \omega &= \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\partial U}{\partial z} - \frac{\partial W}{\partial r} \right); & \gamma_{rz} &= \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial r}; \\ e &= \varepsilon_r + \varepsilon_z + \varepsilon_{\theta}; & \sigma_{kk} &= \sigma_{zz} + \sigma_{rr} + \sigma_{\theta\theta} = (3 \cdot \lambda + 2 \cdot G) \cdot e - 3 \cdot P. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь: U и W – перемещения соответственно в направлении координатных осей Or и Oz ; ω – вращение; r и z – координаты; λ и G – константы Ламе основания; c_v – коэффициент пространственной консолидации; $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа в цилиндрической системе координат при учете осевой симметрии; σ_{zz} , σ_{rr} и $\sigma_{\theta\theta}$ – нормальные напряжения; τ_{rz} – то же, касательное; σ_{kk} – шаровой тензор напряжений; P – давление; ε_{zz} , ε_{rr} и $\varepsilon_{\theta\theta}$ – нормальные деформации; γ_{rz} – то же, касательная [12].

С учетом того, что поровое давление известно заранее, см. (1), и не зависит от времени, из (2) имеем:

$$\begin{aligned} (\lambda + 2 \cdot G) \cdot \frac{\partial e}{\partial r} + 2 \cdot G \cdot \frac{\partial \omega}{\partial z} &= \frac{\partial P}{\partial r}; & (\lambda + 2 \cdot G) \cdot \frac{\partial e}{\partial z} - \frac{2 \cdot G}{r} \cdot \frac{\partial(\omega \cdot r)}{\partial r} &= \frac{\partial P}{\partial z}; \\ \sigma_{zz} &= 2 \cdot G \cdot \varepsilon_z + \lambda \cdot e - P; & \sigma_{rr} &= 2 \cdot G \cdot \varepsilon_r + \lambda \cdot e - P; \\ \sigma_{\theta\theta} &= 2 \cdot G \cdot \varepsilon_{\theta} + \lambda \cdot e - P; & \tau_{rz} &= G \cdot \gamma_{rz}; & \varepsilon_r &= \frac{\partial U}{\partial r}; & \varepsilon_z &= \frac{\partial W}{\partial z}; & \varepsilon_{\theta} &= \frac{U}{r}; \\ \omega &= \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\partial U}{\partial z} - \frac{\partial W}{\partial r} \right); & \gamma_{rz} &= \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial r}; & e &= \varepsilon_r + \varepsilon_z + \varepsilon_{\theta}; \\ \sigma_{kk} &= \sigma_{zz} + \sigma_{rr} + \sigma_{\theta\theta} = (3 \cdot \lambda + 2 \cdot G) \cdot e - 3 \cdot P. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь $\frac{\partial P}{\partial z}$ и $\frac{\partial P}{\partial r}$ – проекции давления на координатные оси.

Согласно [11] общее решение системы уравнений (3) имеет вид:

$$U = \frac{\partial}{\partial r} \Phi - \frac{\partial^2}{\partial r \partial z} F; \quad W = \frac{\partial}{\partial z} \Phi + \frac{\lambda + 2 \cdot G}{\lambda + G} \cdot \Delta F - \frac{\partial^2}{\partial z^2} F; \\ \Delta^2 F = 0; \quad P = (\lambda + 2 \cdot G) \cdot \Delta \Phi. \quad (4)$$

Здесь F и Φ – подлежащие определению неизвестные функции координат r и z .

Для построения частного решения системы уравнений (3) к ней следует присоединить граничные условия. Поскольку на верхней границе основания отсутствуют внешние нагрузки, а на бесконечности усилия и деформации стремятся к нулю, граничные условия имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{zz}(0, r) = 0; \quad \tau_{zz}(0, r) = 0; \\ U(\infty, r) = U(z, \infty) = 0; \quad W(\infty, r) = W(z, \infty) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Решение (4) ищем в виде:

$$F = \int_0^{\infty} J_0(\alpha \cdot r) \cdot F^*(\alpha, z) \cdot \alpha \cdot d\alpha \quad \text{и} \quad \Phi = \int_0^{\infty} J_0(\alpha \cdot r) \cdot \Phi^*(\alpha, z) \cdot \alpha \cdot d\alpha, \quad (6)$$

где $J_0(\alpha \cdot r)$ – функция Бесселя первого рода с нулевым индексом, а $F^*(\alpha, z)$ и $\Phi^*(\alpha, z)$ – подлежащие определению функции параметра α и координаты z [12]. С математической точки зрения равенства (6) являются оригиналом функций $F(r, z)$ и $\Phi(r, z)$, установленным с использованием их изображений в смысле Ганкеля $F^*(\alpha, z)$ и $\Phi^*(\alpha, z)$ по параметру α [12].

Далее представим (1) в форме (6). Для этого вначале с использованием преобразования Ганкеля найдем изображение (1) по переменной « α », а затем с использованием полученного таким образом изображения найдем его оригинал. Имеем:

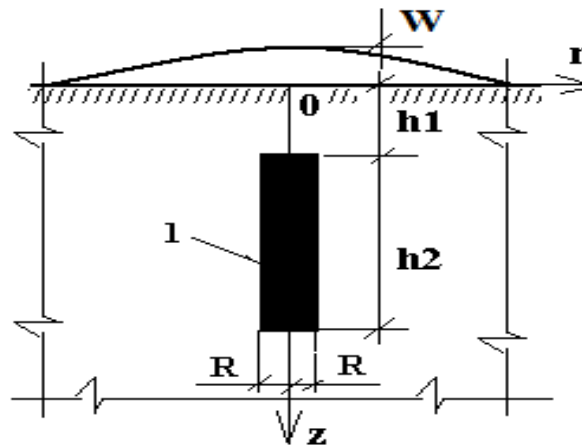
$$P(r, z) = \varepsilon_0 \cdot (3 \cdot \lambda_1 + 2 \cdot G_1) \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \delta(z - \xi) \cdot \int_0^{\infty} J_0(\alpha \cdot r) \cdot \alpha \cdot d\alpha. \quad (7)$$

С учетом (1), (4), (6), (7) и граничных условий (5) функции Φ и F равны:

$$\left. \begin{aligned} \Phi(r, z) &= \frac{k}{4 \cdot ak \cdot \pi} \cdot \int_0^{\infty} J_0(\alpha \cdot r) \cdot \left\{ U(\xi - z) \cdot \left[\begin{array}{l} e^{\alpha \cdot (\xi - z)} - \\ -e^{\alpha \cdot (-\xi + z)} \end{array} \right] - e^{\alpha \cdot (\xi - z)} \right\} \cdot d\alpha; \\ F(r, z) &= \frac{k}{4 \cdot \pi \cdot ak \cdot (\lambda + G)} \cdot \int_0^{\infty} \frac{J_0(\alpha \cdot r)}{\alpha} \cdot \left\{ \begin{array}{l} [2 \cdot \alpha \cdot z - 1] \cdot G + \\ + [2 \cdot \alpha \cdot z + 1] \cdot \lambda \end{array} \right\} \cdot e^{-\alpha \cdot (\xi + z)} \cdot d\alpha; \\ a_k &= \lambda + 2 \cdot G; \\ k &= \varepsilon_0 \cdot (3 \cdot \lambda_1 + 2 \cdot G_1). \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Для определения НДС основания следует с использованием функций (8) и первых двух равенств (4) найти перемещения основания U и W и далее, с использованием формул (3) – искомые напряжения и перемещения.

Далее используем полученное ранее фундаментальное решение для определения морозного пучения основания, в котором расположен U-образный коллектор теплового насоса (рис. 2) [5].



1 – зона мерзлого грунта

Рисунок 2 – К определению величины подъема основания, в котором расположен коллектор теплового насоса, вследствие морозного пучения

Подставив функции (8) во второе уравнение (4) и вычислив несобственные интегралы, найдем фундаментальное решение для точечного источника в виде:

$$W(r, z) = \frac{k}{4 \cdot \pi \cdot a_k} \cdot \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{(z + \xi) \cdot (\lambda + 3 \cdot G)}{(\lambda + G) \cdot \left[(z + \xi)^2 + r^2 \right]^{\frac{3}{2}} + \frac{z - \xi}{\left[(z - \xi)^2 + r^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right] \\ 2 \cdot \frac{z \cdot \left[r^2 + 2 \cdot (z + \xi)^2 \right]}{(\lambda + G) \cdot \left[(z + \xi)^2 + r^2 \right]^{\frac{5}{2}}} \end{array} \right\}; \quad (9)$$

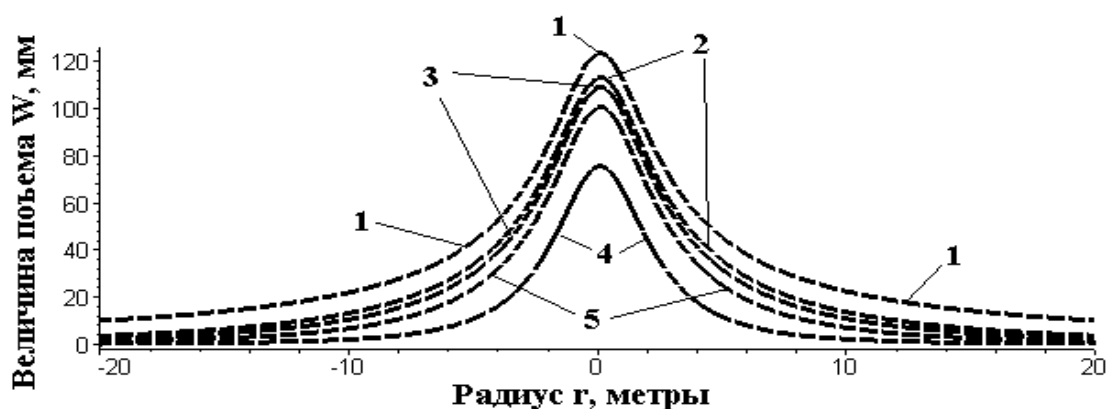
$$a_k = \lambda + 2 \cdot G; \quad k = \varepsilon_0 \cdot (3 \cdot \lambda_1 + 2 \cdot G_1).$$

Для того чтобы определить перемещения дневной поверхности основания, следует в (9) положить:

$$\left. \begin{array}{l} \varepsilon_0 = \varepsilon \cdot \rho \cdot d\rho \cdot d\varphi \cdot d\xi; \\ r = r - \rho; \end{array} \right\} \quad (10)$$

и проинтегрировать полученное таким образом выражение на интервалах $\rho \in (0, R)$ и $z \in (h_1, h_2)$. Здесь ε – относительная деформация мерзлого грунта (изменяется от 1% до 7%). Эти интегралы имеют громоздкий вид, поэтому на

рис. 3 представлены результаты численного эксперимента, выполненного для таких значений параметров: модуль деформации основания $E = 10$ МПа; то же, мерзлого грунта 10000 МПа; коэффициент Пуассона основания (в том числе мерзлого) $\nu = \nu_1 = 0,35$; $\varepsilon = 3\%$; $R = 15$ см.



1 – длина ледогрунтового цилиндра $h_2 = 100$ м; 2 – то же, $h_2 = 20$ м; 3 – то же, $h_2 = 15$ м;
4 – то же, $h_2 = 10$ м; 5 – то же, $h_2 = 5$ м

Примечания: 1. Расстояние от верха ледогрунтового цилиндра до дневной поверхности основания $h_1 = 2$ м. 2. Настоящий рисунок следует читать совместно с рис. 2.

Рисунок 3 – Зависимость величины подъема дневной поверхности основания W от радиуса r

Из рис. 3, в частности вытекает, что чем больше длина ледогрунтового цилиндра, тем больше величина подъема дневной поверхности основания и радиус его распространения.

В целом, изложенные в настоящей статье материалы исследований позволили сделать такие выводы.

1. В аналитической форме получено замкнутое решение фундаментальной задачи о напряженно-деформированном состоянии упругого полупространства, внутри которого расположен точечный источник давления.

2. С использованием принципа суперпозиции полученное нами фундаментальное решение было использовано для определения величины подъема дневной поверхности грунтового основания, обусловленного морозным пучением грунта.

3. Область применения полученных результатов – решения задач об определении НДС грунтовых оснований и горных выработок при их иньектировании, морозном пучении грунта, пучении горных пород, НДС матрицы в процессе роста кристаллов из твердой фазы и вообще всех задач, в которых внутри полупространства действует источник давления, который может быть представлен в виде:

$$P(r, z) = P_0 \cdot \frac{\delta(r)}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot \delta(z - \xi), \quad (11)$$

где P_0 – коэффициент пропорциональности.

В заключение отметим, что полученное фундаментальное решение позволит расширить класс задач об определении НДС грунтовых оснований задачами, в которых причиной возникновения напряжений и деформаций являются протекающие в них физические процессы, обусловленные фазовыми переходами поровой жидкости, переходом горных пород из текучего в твердое состояние, высоконапорное иньектирование грунта с низким коэффициентом фильтрации и др.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шашенко, А.Н. Механика горных пород / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко. – К.: Новий друк, 2003. – 397 с.
2. Камбефор, А. Иньекция грунтов / А. Камбефор. – М.: Энергия, 1971. – 198 с.
3. Насонов, И.Д. Технология строительства подземных сооружений / И.Д. Насонов, В.И. Ресин, М.Н. Шуплик, В.А. Федюкин. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1998. – 317 с.
4. Шаповал, В.Г. Основания и фундаменты тепловых насосов / В.Г. Шаповал, Б.В. Моркляник. – Львов: Сполом, 2009. – 64 с.
5. Шаповал, В.Г. Температурные поля в основаниях тепловых насосов / В.Г. Шаповал, Б.В. Моркляник. – Дніпропетровськ: Пороги, 2011. – 123 с.
6. Козлова, О.А. Рост кристаллов / О.А. Козлова. – М.: Издательство МГУ, 1967. – 239 с.
7. Основы та фундаменти споруд : ДБН В.2.1-10-2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
8. Механика грунтов / В.Г. Шаповал, В.Л. Седин, А.В. Шаповал и др. – Днепропетровск: Пороги, 2010. – 168 с.
9. Флорин, В.А. Основы механики грунтов / В.А. Флорин. – Л. – М.: Госстройиздат, 1959. – 357 с.
10. Зарецкий, Ю.К. Лекции по современной механике грунтов / Ю.К. Зарецкий. – Ростов-на-Дону: Дон, 1989. – 608 с.
11. Шаповал, А.В. Теория взаимосвязанной фильтрационной консолидации / А.В. Шаповал, В.Г. Шаповал. – Днепропетровск: Пороги, 2009. – 311 с.
12. Справочник по математике / Под ред. Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. – 840 с.

REFERENCES

1. Shashenko, A.N. and Pustovoitenko, V.P. (2003), *Mehanyka hornykh porod* [Mechanics of rocks], Novyy druk, Kiev, Ukraine.
 2. Kambefor, A. (1971), *Yn'ektsyya soils* [Strengthening of soil], Enerhyya, Moscow, Russia.
 3. Hasonov, I.D., Resin, V.I., Shuplik, M.N. and Fedyukin, B.A. (1998), *Tehnologiya stroitelstva podzemnykh sooruzheny* [About technologies of underground construction], Publishing House of the Academy of Mining Sciences, Moscow, Russia.
 4. Shapoval, V.H. and Morklianyk, B.V. (2009), *Osnovanyia y fundamenty teplovykh nasosov* [Foundations of heat pumps], Spolom, Lvov, Ukraine.
 5. Shapoval, V.H. and Morklianyk, B.V. (2011), *Temperaturnye polya in osnovaniyah teplovykh nasosov* [Temperature fields in the grounds of heat pumps], Spolom, Lvov, Ukraine.
 6. Kozlova, O.A. (1967), *Rost kristallov* [Crystal growth], Publishing house of the Moscow State University, Moscow, Russia.
 7. Ukraine Ministry of Regional Development (2009), *DBN V.2.1-10-2009. Osnovi ta fundamenti sporud* [Basis and foundation building], Ministry of Regional Development, Kiev, Ukraine.
 8. Shapoval, V.G., Sedin, V.L., Shapoval, A.V., Morklyanik, B.V. and Andreev, V.S. (2010), *Mehanika gruntov*. [Soil Mechanics], Porogi, Dnepropetrovsk, Ukraine.
 9. Florin, V.A. (1959), *Osnovy mehaniki gruntov* [Fundamentals of soil mechanics], Gosstroizdat, Leningrad-Moscow, Russia.
 10. Zaretsky, J.K. (1989), *Lektsii po sovremennoy mehanike gruntov* [Lectures on modern soil mechanics], Don, Rostov-on-Don, Russia.
 11. Shapoval, A.V. and Shapoval, V.G. (2009), *Teoriya vzaimosvyazannoy filtratsionnoy konsolidatsii* [Theory interconnected filtration consolidation], Porogi, Dnepropetrovsk, Ukraine.
 12. Korn, H. and Korn, T. (1974), *Spravochnyk po matematyke* [Mathematical Handbook], Nauka, Moscow, Russia.
-

Об авторах

Шашенко Александр Николаевич, Академик Академии горных наук Украины, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства, геотехники и геомеханики, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (Государственное ВУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина, shashenkoA@nmu.org.ua

Шаповал Владимир Григорьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства, геотехники и геомеханики, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (Государственное ВУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина, shap-ww@mail.ru

Моркляник Богдан Васильевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры мосты и строительная механика, Национальный университет «Львовская политехника» (НУ «ЛП»), Львов, Украина, morklyanyk@mail.ru

Шаповал Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической механики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» (ГБУЗ «ПГАСА»), Днепропетровск, Украина, shap-ww@mail.ru

About the authors

Shashenko Alexander Nikolaevich, Academician of the Academy of Mining Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of the construction, geotechnics and geomechanics, National Mining University (NMU), Dnepropetrovsk, Ukraine, shashenkoA@nmu.org.ua

Shapoval Vladimir Ghrigorevich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Professor in Department of construction, geotechnics and geomechanics, National Mining University (NMU), Dnepropetrovsk, Ukraine, E-mail: shap-ww@mail.ru

Morklyanik Bogdan Vasilevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor in Department of Bridges and Building Mechanics, National University "Lvov Polytechnic" (NU LP), Lvov, Ukraine, morklyanyk@mail.ru

Shapoval Andrey Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor in Department of Theoretical Mechanics, Pridneprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture (PSACEA), Dnepropetrovsk, Ukraine, shap-ww@mail.ru

Анотація. Метою дослідження було розгляд можливості адекватного визначення напружено-деформованого стану (НДС) ґрунтових основ при появі в ньому джерела тиску. Існуючий в даний час підхід заснований на використанні фундаментальних рішень і принципу суперпозиції. Однак відсутнє рішення задачі з визначення НДС ґрунтових основ, що враховує фазові переходи, які відбуваються в них, наприклад, замерзання порової рідини.

У роботі представлено точне аналітичне рішення фундаментальної задачі про НДС пружного півпростору, всередині якого розташоване точкове джерело тиску.

Отримане фундаментальне рішення дозволить розширити клас задач із визначення НДС ґрунтових основ і масивів гірських порід задачами, в яких причиною виникнення напружень і деформацій є фізичні процеси, що протікають в них, зумовлені фазовими переходами. До таких відносяться задачі про визначення НДС ґрунтових основ і приконтурного масиву навколо гірничих виробок при морозному здиманні ґрунту, високонапірному ін'єктуванні, штучному заморожуванні ґрунту, здиманні гірських порід, оцінка напружено-деформованого стану матриці в процесі росту кристалів з твердої фази і т.д.

Ключові слова: ґрунтова основа, масив гірських порід, напружено-деформований стан, фазовий перехід.

Abstract. The purpose of the study was to consider the possibility an adequate definition of the stress-deformed state (SDS) of grounds of basis at the appearance of a pressure source. The current approach is based on the fundamental decisions and the principle of superposition. However, there is no solution to the problem of determining the SDS of grounds of basis, taking into account their place in phase transitions, such as the freezing of pore fluid.

This paper presents an exact analytical solution of the fundamental problem concerning the

SDS of the elastic half-space, which includes a point source of pressure inside.

The resulting fundamental solution will expand the class of problems of definition of SDS of grounds of basis and rock mass tasks, which cause stresses and deformed are occurring in these physical processes caused by phase transitions. These include the problem of determining the SDS of grounds of basis and the rock mass area around the workings in the ground frost heave, high-pressure injection, artificial freezing of ground, heaving rocks, evaluation of the stress-deformed state of the matrix in the process of crystal growth of the solid phase, etc.

Keywords: grounds of basis, rock mass, stress-deformed state, the phase transition.

Статья поступила в редакцию 21.01. 2015

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Т.А. Паламарчук