

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РАСЧЁТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАЛЬНЫХ СИЛ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ДЛЯ МАЛОЗАГЛУБЛЕННЫХ ФУНДАМЕНТОВ**

**Мурсалова Диана Рашидовна**

студент Северо-Кавказского федерального университета, РФ, г. Ставрополь

**Тимофеева Елена Фёдоровна**

научный руководитель, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры высшей алгебры и геометрии  
Северо-Кавказского федерального университета, РФ, г. Ставрополь

??? ?????????????? ??? ??? ????? ?????????????? ????????? ?????????  
?????????? ??????? ??????????????, ?????????? ?????????? ?????????? ??????????  
????????? ??????????????? ??????????, ? ?????? ??????????, ??????????????? ??????????????  
????????????? — ??? ??????, ??????? ?????? ??????????, ??? ?????????? ??????????????  
????????? ?? ?????????????? ?????????????????????? ?????????? ?? ?????? ??????????????????  
??????????????, ??????????????? ??? ?????????????? ? ??????????????

??? ?????????????? ?????????????????? ?????????? ?????????? ? ?????????????????? ?? ??????????????,  
? ?????????? ?????????, ?? ?????????? ?????????????????????? ?????????????????????? ?????????????????? ??????,  
??? ??? ?????????????? ?????????????????? ?????? ?????????????? ?????????????????? ??????, ??????????  
????????? ?????????????????? ??????????????. ?????????? ?????????????, ?????????????????? ?????????????,  
????????????? ?????? ?????????????? ??????????. ?????????????????? ?? ??????????????

????????????? ?????????? — ?????????? ?????????????????? ?????????? ? ?????????, ??????????????????  
????????????????? ?????????????????? ??? ?????????????????????? ?????????????????????? ??????, ??????????????????  
? ?????????, ? ????. ?????? ?????????? ?????? ?????????? ?? ?????? ?????????????????????? ??????  
?????????, ? ?????????? ? ?????????????????? ??????????????

??? ?????? ?????????? ?????????????? ?????????, ??? ? ?????????? ?????????? ?? ??????  
????????????????? ?????????? ??? ??????????. ?????????? ?????? ??? ?????????? ?????????? ???  
????????????????? ?????? ? ?????????, ? ?????????????????? ?????? ?????????????????? ??? ??????????????, ?????????

?????????????. ?? ????? ? ?????????? ??????????, ??, ? ??? ???????, ??????  
?? ?????? ?????????????? ?????????????, ?? ? ? ?????????? ?????????? ?????????? ?  
????????????? ??????????????. ?????? ???????, ?????? ?????????? ?????????? ?????????  
????????????? ?????????????? ?????? ?????????????????? ??????, ?????????? ?????????????????  
?????????????, ?????????? ?????????????? ?????????? ?????????????? ?????????????, ?????  
????? ?????????? ? ?????????????? ??????????????.

????????????? ??? ??????????????????, ?????????????????? ??? ?????????????????, ??? ?  
????????????????? ??????????????????, ??? ?????????? ?????????? ?????????? ?? ??????????  
?????????????. ? ?????????? ??? ?????? ??? ? ?????????????? ?????????? ??????  
????????????????????? ??????????, ?????????? ?????????? ?????????? ? ?????????? ?????? ?  
????????????? ?????????? ??? ?????????????? ??????????. ?????? ?????? ?????????? ??????????  
??? ?????????????????? ?????????????? ?????????????????? ?? ? ??????????????????  
????????????????, ?? ??? ? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ?????????? ??????????  
????????????????, ?????????????? ?? ??????????????, ? ?????? ? ?????? ?????????????????? ??????.

????????????? ?????? ?? ?????????? ?????????? ?????????????????? ?????????????? ???  
????????????? ?????????? ??? ?????????????????????????? ?????????????????, ? ?????? ??????, ?  
????????? ?????????????? ?????????? ??????????????. ?????????? ??????????????, ??? ??????????????  
????? ?????????????? ?????????? ?????????? ?????????????? ?????????????????? ?? ??? ??????????????  
????????? ?????? ? ?????????? ?????????????????? ??????. ??? ? ?????????????? ?????????? ??  
????????????????? ??????, ?????????? ?????????????????????????? ??????, ? ?????????????? ??????  
????????????? ??? ?????????????????? ??????, ?????? ?????????, ? ??????, ?????????????? ?????  
????????? ?????????????????? ?????????????? ??????????????.

????????????????????? ?????????????? ?????????? ? ?????????? ?????????????????? ??????, ?????? ??  
?????, ??? ?????????????????? ?????? ?????????? ?????????????? ?????????????? ? ?????? ??????  
????????????? ?????????????, ?????????????????? ??????????????????. ?????????????? ?????? ?????????? ??  
?????? ?????????????? ?????????????? ?? ??????????????, ?????????? ?????? ?????????? ?  
?????????????????????????.

????????????????? ?????????????? ?????????????????? ??? ?????????????? ?????????? ?????? ??????????????  
?? ?????????? ?????????????????? ?????? ?????? ?????????????????????? ?????? ?????????? ???  
?????????????????, ?????????????? ?? ?????????????????? ?? ??? ??????, ? ?????? ?????? ??????????,  
????????? ?????????????? ?????????????? ?? ?????????? ?????????????????????? ?????????????????????? ?????  
?????????. ?????????? ??? ?????????????? ?????????????????????????????? ??? ? ?????????????? ??????????????  
????????????????? ?????????????? ??????????. ?????????? ?????????????? ?????? ??? ??????????????

????????????????? ??????????? ?? ????????? ?????????? ???????, ??????? ?????  
??? ??????, ??? ?????? ????

??? ?????????????? ?????????????????? ????????? ?????????????, ????????????? ?????????  
? ???, ??? ?????????????? ??????????? ??????? ?????????????????? ????????????? ??????  
????????????????? ??????? ?????????????? ????????? ? ?????????????????? ? ???????,  
????????????????????????? ??? ??????????????. ??? ?????. ?? ?????? ??????  
????????????? ?????????????? ?????????????? ??? ?????????????? ?????????, ?????????????????? ???  
????????????? ??? ?????????? ?????????????????? ??????????????. ?????? ?????????????? ???  
????????????????? ?? ??? ???, ?????? ?????????????????????? ?????? ??????? ?? ??????????????????  
?????????????????. ?? ??????? ??????? ?????????????? ?????????????????? ?????? ?????????????????? ???????  
? ?????????????????? ??????? ????????. ?????????????????? ?????????? ?????? ?????????????? ?  
????????????? ????:

$$V_{ps}^I < V_{\sigma}^I = N$$

(1)

??? ?????????? ?????????????????? ??? ?????????????????? ?????????????? ??????????:

$$T = 0$$

(2)

$$\sigma > p_{max}$$

(3)

???? ?? ?????????????????? ??????? ??????????:

$$T > 0$$

(4)

$$p_{max} > \sigma = p_s$$

(5)

??:

$$V_{\sigma}^{\text{II}} = V_{ps}^{\text{II}} = N$$

(6)

???:  $V_{\sigma}^I, V_{\sigma}^{\text{II}}$  — ??????? ?????? ?????????????????? ? ????????? ??? ????????? ? ????????? ????????

????????????? ?????????? ??????????????;

$V_{ps}^I, V_{ps}^{II}$  — ?????????????????????????????????????????????  
??????? ?? ?????????? ????????  $h$  ?? ?????????? ?????????? ?????????? ??  
??????? ? ?????? ?????? ?????????????? ?????????? ?????????????????;

$N$  — ?????????? ?? ?????????? ??????????, ?????????????? ?????????????;  
 $T$  — ?????????, ?????????????????? ?????????? ????????? ?????????;

$p_{max}$  — ?????????????? ?????????? ?????????? ??? ??????????  
????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????  
????????????????? ?????????????????????? ??????;

$p_s, \sigma$  — ?????????????????????????????????????????????????????????????????????  
????????? ? ?????????? ?????????? ?????????.

? ?????? ?????????? (1) — (6), ? ?????? ?????? ?????????????? ??????,  
????????????????? ?????????????? ??? ?????????? ?????????? ? ?????????????  
????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????  
????????????? ??????

$$N = \int_{-a}^a \int_{-b}^b \int_0^z \sigma(x,y,z) dx dy dz = \int_{-a}^a \int_{-b}^b \int_0^z p_s(x,y,z) dx dy dz$$

(7)

????????????????????????????????????????????????, ?????????????????????????????????  
????????????? ? ??????, ? ?????? ?????????????????????? ?????? ?????????:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{-k \frac{R^2}{z}}$$

(8)

???:  $\sigma_0$  — ?????????????? ? ?????? ?????????????;

*k*

— ?????????? ?????? ??????;

????????????????????????????????????(7), ?????????????????????  
?????????????????????????????????????????????????????????????,  
????????????????????????????????????????????????????????????  
????????? ??????;

$$P = \frac{4 \cdot \sigma_0^I}{k \cdot R^2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{k}{2} \cdot R^2}\right) + \sigma_c \tag{9}$$

?? ? ?????????? ??????????;

$$P = \frac{16 \cdot \sigma_0^I}{k \cdot b^2} \Phi_{\frac{b}{2} \cdot \sqrt{k}}^2 + \sigma_c \tag{10}$$

?? ? ?????????? ?????????????? ??????;

$$P = \frac{16 \cdot \pi \cdot \sigma_0^I}{k \cdot l \cdot b} \Phi_{\frac{b}{2} \cdot \sqrt{k}} \Phi_{\frac{l}{2} \cdot \sqrt{k}} + \sigma_c \tag{11}$$

???;  $\sigma_c$   
— ?????????? ?? ???? ?????????? ??????????, ? ????? ?? ?????  
????????????? ? ?????????????????? ?????????????;

*l*

— ????? ?????????????????? ???? ??????;

*b*

— ?????? ?????????????????? ???? ??????;

*R*

— ?????? ?????????????????? ???? ?????? ??? ?????? ???????????.

?????????  $\sigma_0^I, \sigma_c, \sigma_0$   
????? ?????????? ?????????????;

$$\sigma_0^f = \sigma_0 - \sigma_c \tag{12}$$

??????? (9) — (11) ???????????? ??? ???????????? ???????????? ?????????????:

$$p_s + \sigma \geq \sigma_0 \tag{13}$$

??? ???????????? ???????????? ????????:

$$p_s + \sigma < \sigma_0 \tag{14}$$

????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????  
 ???????????????? ???????? ???????????????????????? ?????????????? ?? ???????????

$$???????? \begin{matrix} V_{\sigma}^{\text{II}} \\ ? \\ V_{ps}^{\text{II}} \end{matrix}$$

??????????????????? ???????????????? ???????????????? ?????????????? ??? ????????????  
 ?????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????  
 ?????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????  
 ?????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????  
 ?????????????? ?????????????? ?????????????? ????, ?????????? ?????????????? ?? ?????? ???  
 ?????????????????, ?????????????????????????????????????????????????????????????????????  
 ?????????????????? ? ?????????????????? ?????????????? ??? ?????????????? ??? ?????????????? ??????????

? ?????????? ????????, ?????????????? ? ?????????? ??????????, ?????????????? ? ???????,  
 ?????? ?????????????? ?????????? ??????? ? ?????????? ? ??????????????, ?????????????????? ??  
 ?????????????? ??????????. ?????? ?????, ?????????????????????? ?????????? ??????????????????  
 ?????????????? ??? ?????????????? ?????????? ?????????????? ?????????????? ??????????  
 ?????????????????????? ????????????????, ?????????? ??????? ?????????? ??????????????,  
 ?????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????????  
 ?????????? ?????????? ?????????????? ?????????????????? ?????????????? ??????? ? ??????????  
 ?????????????????????????????????????????????????????????????, ?????????????????????????????  
 ??????????????. ?????????????? ?????? ?????????????????? ?? ??????? ?????????????? ?????????,  
 ?????????????????? ??? ?????????????? ??????? ? ??????????????, ?? ? ?????????????? ??????  
 ???????????????????.

**?????? ??????????:**

1. ????????? ?.? ? ??????? ????????????? ?????? ?? ?????????????????????  
?????????????? ? ??????????? ???????? // ??????????????? ??????????????????. — 2001. — ?  
3.
2. ????????? ?.? ?????????? ? ??????????????. — ???: ??????????????? «?????», 2011. —  
320 ?.
3. ????????? ?.?, ????????? ?.?. ?????????? ? ????????????? ( ? ????????? ? ?????????).  
— ?.: ??????????????? ????????????? ????????????????? ??????, 2004. — 328 ?.