

?????????????. ?????????????? ?????????????? ?????? ?????? ?????? ?????????????? ?????????????? ? ?????????????? ??????????, ?? ?
 ?????????? ?????????? ?????????? ??????????-????????????????? ?????? ? ????????? ? ?????????????????????????? ??????????????????
 ??????????????. ?????????? ?????????????? ?????????? ?????????????????????? ?????? ?????? «????????????? ????? – ?????????? ?????»
 ?????????????????? ?????????????????? ?????????? ?????? ?????????? ? ?????? ?????????????? ?????? ?????????????????? ?????????????????, ????? ?
 ?????? ?????????????? ?????????? (DEM).

???????? ??????????? ?????????? ?????????????????????? ??????? ????????? ?????????? ?????????????? ?????????????? ? ???????
 ?????????????????????????? ? ?????????????????????? ??????????????????. ? ?????? Aikins et al. [1] ????????? ????????????? ??????????
 ??????????-???????????? ?????????????? ?????????? ?????????? ?????, ?? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ? ?????????? ??
 ??????? ??????. ????????????? ????? ? ????????? ??????? ????????????? ??????? ??????? ?????? Ye et al. (2023) [2], ??????????????
 ????????? ????????????? ?????????? ?????? ?? ?????? ??????????-????????????? ??????????????.

? ?????? ?????? ????????? Ye?ilkaya et al. (2025) [5] ?????? ?????? ?????????? ?????? ?????????????????? ?????????????? ??
 ?????????????????? ?????????????????? ???????, ??????? ?????????????????? ?????????? DEM-??????.

et al. (2024) [7].

[illegible]

1. ?????????????? ?????????????? Song ? ??, (2025) [16] ?????????????????? ?????????????????? ??????? ?????????????? ?????????????????? ?????????
 ??????? ??? ?????????????????????????? ??????????????. Charuk, Gawdzińska ? Dunaj (2024) [17] ?????????????????? ?????????????? ??????? ??????????
 ?????????????? ??? ?????????? ?????????????????? ?????????? ?????????????????????? ??????????????. Reza ? ??, (2021) [18] ?????????????? ?????????????????????
 ?????????? ?????????????????? ?????????????????? ?????????????????? ??????????????.

??????? ? ?. (2022) [22] ?????? ??? ?????? ?????? ?????? ? ?????? ?????? ?????? ? ?????? ? ?????????? ?????? ??
 ?????????? ??????????, ?? ?????? ?????? ?????????? ?? ?????? ?????????????? ?????? ?????????????? ?????? ? ?????????? ?????????-
 ?????????????? ??????????.

[illegible]

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

??? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ?????????? ?????? ?????????? (Discrete Element Method). ?????????? ?????? ?????????????? ?????????????????? ?????????????? ?????? ? ?????????? ??????–????????????????? ??????????????????. ?????????????????? ?????? ?????????? ? ?? ?????????? ? ?????????????????? ?????? ?????????????? ?????????? ?????????????????? ?????????? ?? ?????? ?????????? ?????? ?????????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????????????????? ?????? [3, 17]. ?? ?????????????? ?????? ?????????????? ?????????????????????? ?????????????? ?????????????? ?? Object Pascal, ?????????????????? ?????????????? ?????????? ? ?????? ?????????????? ??????????????.

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

????????? ?????????????? ?????????? ?????????? ?????????????????????? ?????????? ?????????? ?????????????? ?????????? ?????????? ??????????– ?????????????? ??????????????????.

????? ?????????????????? ?????????????????? ?????????? ?????????????????? ?????????????????? ?????? ?????????????????? ?????????????? ?????????? ? ?????????? ?????????????????????? ?????????????????????? ?????????? ?? ?????????????? ??????????????.

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

–????????? ?????????? ??????????: ?????????????????? ?????????? ?????? ? ?????????? ?????????? ?????????? (?) ? ?????? ?????????????????? ?? ?????????? ?????????? ?????? (h);

–????????????????? ??????????: ??? ?????????????????? ?????????? ?????? (Ex).

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

–????? ?????? ??????? (y);

–????? ?????? ??????? ?????????????? ?????????????? ?????? (?);

–????????????? ?????????? ?????????????? ?????? ?????????????? ?????????? (x).

????????????????? ?????????????? ?? ?????????? ?????????? ?????????????? ?????? ??? ?????????????????? ?????????? ?????? ? ?????????? 18-22%, ?????????? ?????????? ?????????? E = 8-12 ??? ? ?????????????? ? ?????????????????? ?????????? 1.35-1.45 ?/?³ [4].

??? ?????????????????? ?????????????????? ?????????? ?????????????? ?????????? ?????????????????? ?????????? ?????????????????? ?????????? ?????????? ?????????????????????? ?????????? ?????????? ??????????????????.

–????????????? ?????????????? ??????;

–????????????? ?? ?????????????????? ? ?????????????????? ?????????;

–????????????????? ?????????? ?????? ? ??????.

? ?????? ?????? ?????????? ?????? ?????????????????? ?????????? ??????????–????????????? ?????? ?????? [22-24], ? ??????? ?????????? ?????? ?????????????????????? ?????????????????? ?????????????? ??????. ?????? i–? ??????? ?????????????????????? ?????? ?????????????? ??????????:

–????????????? ?????????? (xi, yi, zi);

–????????????? ?????????? (vxi, vyi, vzi).

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

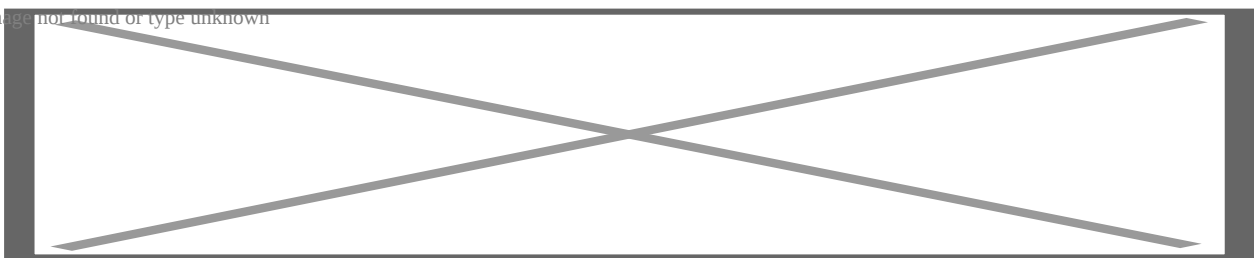
–????????????? ?????????????? ??????;

–????????????? ?????????? ??????;

–????? ?????????????? ? ??????????????;

–????????????????? ? ?????????? ??????????

Image not found or type unknown



(1)

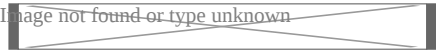
??? i – ?????? ?????????; ? – ?????????? ?????????????? ?????????????? (????? ?????????? ?????????? "x", "y", "z"); N? – ?????????????? ??????????; mi – ?????? ?????????; t – ??????; j – ?????? ?????????, ?????????? ?????????????????? ? i–? ?????????; ?ij



(5)

??? z_1 ? z_2 – ?????????? ??????????, ?????????????? ??? ? ?????? ????? ??????.

?? ?????????? ?????????????? ?????????????? ?????? ??? ?????????????? ???????? ?????? $F_{\mathbf{x}}$:



(6)

??? t_1 ? t_2 – ?????? ??????, ? ?????? ?????????????? ?????????? ??? ??????????????; t ? ? – ???????? ? ?????????? ????? ????

????????????????? ?????????? ?????????? ?? ????????; N ? N ? – ?????????? ?????????? ? ?????????????? ?????????????? ??????????????; $(F_i^{?}-?j)$

? – ?????????? ?????????? ?????????? ??? ?????????????????? ?????? ?????????? i ? ?????????????? j ?? ??? ?????????????????? ?.

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