

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

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

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

???? ?????????????? ?????????????? ?????????? ? ?????????????? ?????????? ?????????????? López-Bravo et al. (2019) [8],
 ?????????????????????? ?????????????? ?????????????? DEM-????????????????? ??? ?????? ?????????? ?????? ?????????????????????? ??????????.
 Hu ? ?? (2023) [9] ?????????? ?????????????????? ?????? ? ?????????????????? ?????????????????? ?????????? ?????? (SPH), ? Bradley, Jaksza
 ? Kuo (2024) [10] ?????????? ?????? ?????????? ?????????? ??? ?????????? ?????????? ?????? ??? ?????????????????? ???????????.

????????????? ?????????????? ?????????? ?????????? ?????????????????????????? ?????????????? ?????????????? ?? ?????????? ? ?????????? ?????????? ??????????. ?????? ? ??, (2025) [14] ?????????????? ?????????????????? ?????? ? ?????????????????? ? ?????????????????? ?????????????? ??????????, ?????????????? ?????????????????? ? ?????? ?????? ? ?????????????????? ?????????????????? ?????????????? 3D-?????. ?????? ? ??????? (2025) [15] ?????????????? ?????????? ?????????? ?????????????????? ??????? ?? ?????????? ? ?????????? ?????????? ??????????.

????????????? ??????? ?????????????? ?????????????????????? ?????? ?????????? ? ?????? ?????????? ? ?? (2025) [19], ?? ?????? ?????? ?????????????? ?????????????? ?????????????????????? ?????? ?? ?????????? ?????????? ??????. ?????????? ?????????????????????? ?????????????????? ?????? ?????? [20, 21], ?????????????? ?????????? ?? ?????????????????? ?????????? ?????????????????? ??????? ??????? ? ?????????- ?????????????? ??????.

[illegible]

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

–????? ?????? ????????? (??);

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

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

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

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

–????????????? ?????????????? ??????;

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

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

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

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

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

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

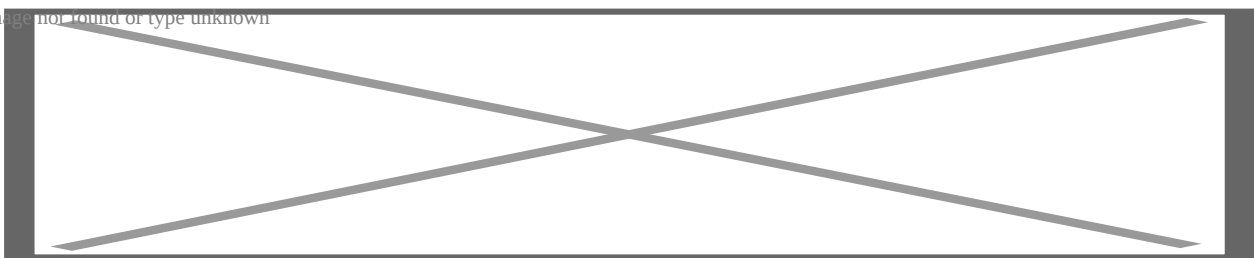
–????????????? ?????????????? ??????;

–????????????? ?????????? ??????;

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

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

Image not found or type unknown



(1)

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

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

