

1 ?????????? ?????? ?????????????????? ? ?????????????????? ??????

????????? ?????????????? ??????? ? ?????????????????? ?????????????????? ?????????? ??? ?????????????????? ?????????????????
????????????? ?? ??????? ??????? ??????? ??????? ??????? ? ?????????????????? ?????????? ?????????????? ?? ??????????
??? ?????????????? ??????? ??????? ??????? [1]. ? ????? ?????? ?????????????? ? ?????????? ?????????????? ?? ??????????
????????? ?????????? ??????? ??????? ?? ?????????? ?????????????? ?????????? ?????????????? ?????????? ?????????????? ???
????????? ???????, ?????????????????? ?? ?????????? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ?????????? [2-6]. ??
?????? ???????, ??????? ?? ?????? ?????????? ??????????????, ?????????????? ?????????? ? ? ?????????????? ???????
?????? ?????? ?????? ?????????? ?????????????????? ???????, ?????????? ??????? ?????????? ?????????????????? ? ?
????????????????? ??????????. ?????? ?????????????? ??? ?????? ? ?????????????????? ??????? ?????????? ??????????????
????????????? ???????, ?????????????? ??????????, ??????????, ?????????, ?????????????? ?????????? ??? ???????,
????????????? ??????????, ?????????????? ?????????????? ?????????????? ?????????????????? ?????????????? ?????????? ?
?? [7-17]. ? ?????????? ?????????? ?????????????? ?????????? ?????????????? ?????????? ?????????? ?????????? (??????), ?????
?? ?????????????? ???????, ???????, ?????????? ?????????? ?????????? ???????, ?????????? ?????????? ?????????? ??????????????
????????? ? ?????????? ?????????????????? [18-22]. ??? ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?????????????? ???????
????????? ??? ?????????? ??????? ??? ?????????? ?????????? ? ? ?????????? ?????? ?????????? [23-25].
????????? ??????? ?????????????????? ??????? ? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ?????? ? ??????????????
? ??? ?????????????????? ?????? (?????). ??? ?????????????? ?????????????? ?????? ? ?????? ?????????? ???
[26, 27]. ?????? ?????? ?????????????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ? ?????????? ??????????
????????? ??? ? ?????????? ?????????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? [28, 29]. ? ????
????????? ?????? ?????????? ??????????????-????????? ?????????? ?????? ??? ?????????????? ?????????? ?
????????? ???????, ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ? ?????? ??????????
????????????????? ??????????????.

?????? ?????? ??????? ??????? ???????????, ??? ? ??????????? ?????? ??? ? ?????????????-??????????
????????? ? ??????, ??? ? ??? ??????? ???????????, ? ??????????, ??? ??????? ?????????? ? ??????????
??????????????, ?????????? ? ??????? ?????????? ??????????????? ??????????, ?????????? ? ??????????
??????????????, ? ???????????????, ??? ??????? ?????????? ?????????? ?????????? ??????????????? [30-32].
????????? ??????? ??????? ??????????? ?? ?????? ???, ??? ? ?????????? ?????????? ?????????????? ??????????
????????? ???????, ??????????????????? ??????, ????? ? ??????-??????????????, ?????? ? ??????????????
??????????????, ??????????????? ? ?????????? ?????.. ??? ?????????? ? ?????? ?????????? ?????????? ??????????
????????????? ????, ??????????? ? ?????????? ??????????????? ?????????? ?????????? ?????????? ??????????
????????? ? ?????????? ??????????? ?????????? ?????????? ? ?????????? ?????????? ?????????? ? ??????????
??????????????, ??????????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?, ???
??????????, ?????? ??????????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?, ???.

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

2 ??????????, ?????????????? ? ?????? ??????????????

? ?????????? ?????????? ?????????????? ???? ???? ?????????????? ?????????? ?????????? ??????????????-?????????
?????????, ?????????????? ? ?????? ???? ?????????????????? ?????????? ??????????????????, ?????????? ? ??????????,
????? [18-22]. ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?????????? ? ?????????????????? ?????? ?????? ?????? ??????????
? ?????????????? ?????????? ?? ?????????????? ????. ?????? ?????? ?????? ? ?????? ?????? ?????? 3-5 ?.
????? ??????????????-????????? ?????? ?????? 1-50 ?. ?????? ?????? ?????? ? ?????? ? ? 20 ? 500

????????? ?????? ?????????????? ?????????????? ? ?????????? 2-120 /?/ ? ?????????? ? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ?? ??? 23932-90 ??? ??????? ?????? ??????????????. ? ?????????? ?????????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ?????? ?????? Na₂SO₄, NaCl, NH4NO3, K2SO4, ? ?????????? ? ?????????? ?????? H2SO4, C6H8O7 ? ??? ???? . ??? ???? ?????????????? ???? ?????????????? ???? ???? 3-360 /?/, ? ?????????????? ???? ???? 3-5 /?/. ?????????? ?????????? ?? ?????????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? TA601C. ? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ?????? ?????? 21, ????? ???, ?????????? ?????? 08/18?9?, ?????????????? ?????? ?????? 718, ?????????? ????? AISI301 ? AISI 304, ????? L605, ????? 95?18, ?????????? 20?13,15????, ???????, ?????????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? . ? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? SOLIDWORKS ? ?????????? ?????? Wolfram Mathematica. ??? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? -????????? ?????? ?? ?????????? ?????? ??? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? COMSOL Multiphysics. ?????? ?????????? ??? ???? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?? 15 ???, ??? ???? ?????????? ?????????? ?????? ? ?????????? ? ?????????? ? ?????????? 5×5 ?. ??? ?????????? -????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? Steinbichler Comet V. ?????? ?????????? ? ?????? ?????????? SOLIDWORKS. ?????? ?????? ?????? ? ?????? ?????? Wolfram Mathematica. ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?????? ?????????? ? ?????????? ?????????? HANTEK ? ?????? ?????????? 100 ??? . ?????????? ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?????????? ?????? (????? ?? 31 ???, ?????), ?????????? ?????????? Supra 55 VP-25-78. ?????? ?????? ?????? ?????????? ?????? ?????????? FM-300 (?????). ?????? ?????????? ?????????? ? ?????? ?????? Thixomet Pro (?????). ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ? ?????? ?????????? TR-200 ? MarSurf M400. ?????????? ?????? ?????????? ?????? 3 % ? ?????????? ??????????.

3 ?????????????? ??????

????????? ??????? ??????? ? ?????????? ?????????????? ?????????? ??????????????-????????????? ?????????????? ??????? ??
????????????? ?????????? ??????? ?????????? ?????????? ??????. ??? ?????????? ? ???, ??? ??? ?????????? ?????????? ??????????
?????? ?????? ?????????? ??????? ??????? ??? ?????? ?????????? ? ??????? ?????????? ?????????? ??????????, ??????????
????????????? ??? ??? ??? ??? ??????????????-????????????? ??????????. ? ?????? ? ??? ?????? ??? ?? ??????
????????? ??? ?????? ???????, ??????? ? ?????? «????????? ?????? ??????????????????» ?????????????? ???
????????? ??????. ?????? ?????????????? ?????? ??????????, ??? ?????????? ?????? «????????? ??????????????» ??????????
????????????? » ?????????? ?? ?????????? ??????. ??? ?????? [30, 31] ?????????????? ?????? «????????? ??????????»
????????????? » ?????????? ?? 1,9-1,95 ???.

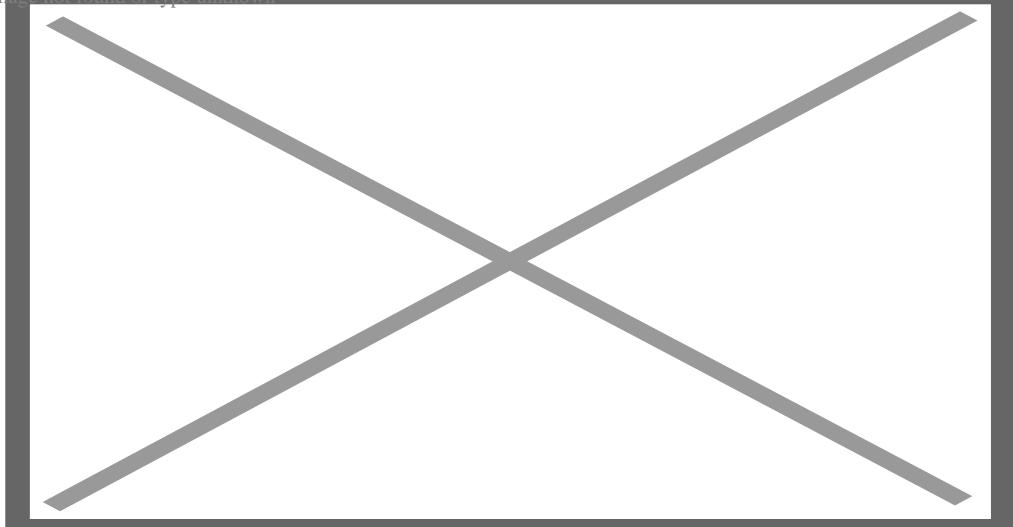
????????? ?????????? ??????????????????? ??? ??????????????????? ?? 800 ??? [32]. ?? ?????? ??????, ???????????????
??? ??????? ??????? ??????????-????????? ?????????? «?????? ??????????????» ? ??????? ??????????
????????? ??????????? ??????????. ??? ???????, ?????? ?????, ? ?????? ??????????? ?????? ??? ???????
?????????????? ?????? ?????????? ?????? ?????? ?????? ???????, ??? ??? ?????? ?????? ?????? ??????????? ??????
????? ??? ?????? ?????? «?????? ??????????». ?????? ? ??? ?????? ??????? ??, ?????? ??? ??????
?????????? ? ??? ?????? ??? ?????????????????? ??????????. ??????????????? ?? ?????????? ?????????? ??????????
????????? ?????????? ?????? (????????). ?????? ?????? ?????????? ?????? ?????????? ?????????? ?? «??????
?????????????» [30-32]. ??? ?? ??????? ??? ?????????? ??????????-????????? ??????????. ??? ?????? ?
??? ?? ??????????-????????? ?????????? ??? ??????? ?????????? ? ??? ?????????? ? ?????? ??? ?????? ??????????
????????? ??????????-????????? ?????? ??? ?????? ?????????? ?? ?????????? ?????????. ?????? ??????????,
?? ?????? ?????? ?????? ?????????? ??????????, ?????? ?????? ?????????? ?????????? ?????? (????????). ? ???
?????? ?????????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ??? ?????? [33-35]. ?????? ? ?????? [33] ??????????????
????????????? ?????? ??????????-????????? ??????????, ?????? ?????? ?????? ?????????? ?????? ??????,
?? ??? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? [33] ?????? ?????? ?????????? ??????????
????????? ?????????????? (17 ???) ??????????-????????? ??????? ?? ?????????????? ???????, ??? ??????????????
????????????? ? «?????? ??????????» ??? ?????????? ?????????? ???????, ??? ??????????-????????? ???????

?????? ???? ???? ?????? ?????????? ??????????????. ? ?????? [34, 35] ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?
????????? (200–500 ??). ?????? ?????? ?????????? ?????????? ??????, ?? ?????? ?????, ??? ?????? ??????
????????????? ?????? ?????????? ?????? ?????????? ?????????? ??? ??????????????-????????? ??????????????
???? ???? ?????????? ?????? ?????? ??? ?????? ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? -?????????
?????????: ?????????????? ?????????????? ?????????????? ?????? ?? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ??????
?? ?????????? ??????, ?????????????? ??? ?????????? ? ??? ?????? ??????, ?????????? ?????? ?????? ??
????? -????????????? ??????.

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

??? ?????? ?????? ?????????????? (2-8 ??) ? ?????????? (180-340 ?) ?? ?????????????? ???? ?? ??????????
????????? ?????? ?????????????? ?????????????? ??? (1-10?-1-10? ??), ?????????? ?????????? ? ??????
????????? ?????? ?????????? ??????????, ??? ?????????? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ???
????????? ?? ?????? ?????? ?????? ?????????????? ?????????????? (???. 1, ?). ??? ??? ?????? ??? ???? ??
????????? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ????. ??? ?????????????? ???, ??? ?????? ???
????????????? ?????? ?????????? ?????????? ?? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ??????????
??? ?????????? ??? ???????, ?????????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? (LSM). ??? ??
????????? ?????? ?????? ? ?????????????-????????? ?????????? ? ?????? ?? ?????????? ??????????
????????? ?????????? ?????????????? ??? ?????? ?????????? , ? ??? ?????? ? ?????? ?????? ??? ?????? ??????
????. ?????????????? ?????????????? ?????????????? ??? ?????? ?????? ?????????? ?? ?????????? ?????? ??????????
????? ?????????????? ?????????????? ?????? ?????? ?????? ?????????? ?????? ?????????? ?????? ?????????? (???. 1,
?).

Image not found or type unknown



) ?????? ?????????????? ?????????? ? ?????? ?????? ?????????? ?????????????? ?????????????? ???;
?) ?????????????? ?????????? ??? ? ?????? ?????? ??????; ?) ?????? ?????????? ?????? ??????????
????????????? ???; ?) ?????? ?????? ? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ??????????

????? 1 – ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?????????????-????????? ??????????

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

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

????????? ?????????????????? ? ?????????? ?????????? ?????????????? ??????????????-????????????? ?????????? ??????????????, ??? ? ??????????
????????? ?????????????? ?????? ? ? ?????????? ??? ?????? ?????? ?????? ?? ??? ?????????????? ?????????? ?????? ?? ?????????????? ?????????? ??????????????
????????? ?????? ??????:

$$dQ = I \cdot 2 \cdot R dt$$

?: $dQ = \dots$, $I = \dots$, $R = \dots$, $t = \dots$.

???? ??????? ?????????????? ??? ??????????? ?????? ??? ?????? ?????????????? (3-60 ?), ? ?????? ??? ??????????????????
?????????????-????????????? ??????? 60-500 ? (???. 1, ?, ?). ? ???? ????, ??? ?????????????? ?????????????? ??? ?
????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????????? ??????????, ?? ???? ?????? ?????????? ? ?????????????? ???? ?????? ?????????.
????????????? ??? ?????? ?????????????? ? ?????? [29] ??????????, ??? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ?? ?? ???
????? ???????, ?? ?????? ??? ? ?????????? ?????????? ?????????? (???. 1, ?). ? ?????? ?????? ??????????????
????????? ?????????? ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?????? ??????. ?????? ? ?????????? ?????? ?????? ?????
????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ?????????? ?????????? ??????. ?????
????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ?????????? ?????????? ??????. ?????
????????? ?????????? ?????????? ??? ? ?????????????? ?????? ?????? ?????????? ??????, ??? ?????? ?????????? ?????? ?
????? ?????????? ? ? ?????????? ??????????.

? ?????????? ?????????????? ??????? ?????????????-????????????? ?????????? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ???
?????? ??????? ????, ?? ???? ?????????? «?????????» ?????????????? ???? ?? ?????????? ????
????????????? ???? ??????.

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

????????????????? ??????? ?????????????????? ??? ?????????????????? ?????????????? ?????????????????-????????????????? ??????
????????? ?? ?????????????????? ?????????????????? ?????????????????? ??? (???. 1, ?, ?). ?????????????????? ????, ? ????
?????????, ?????????????????? ?????????????? ??????????????, ?????- ? ?????????????????? ??????????-????????????? ? ??????????????
?????- (?????-) ?????????????? ?????????????????? ??????????????. ?????????? ?????????????? ?????? ?????????????????? ??????
????????????????? ?? ?????? ??? ?????? ?????? ?????? ?????? ??????. ?????? ??? ?????? ?????????? ? ??????
????????????????? ????, ?????????? ?????? ?? ?????? ?????????????????????? ????, ? ?????????? ?????????????????? ??????
? ?????????????? ?????????????? ?????? ? ??? ?????? ?????????? ? ?????????????? ?????? ?????? [18]. ?????? ??????????????
????????? ?????????????????? ?????????????????? ?????????? ?????????????? ??? ?????????????? ?????? ?????????????? ??????????-
?????????????. ??? ??? ?????????? ?????????????? ?? ?????? ?????? t ?????????????? ?????????? ?????????? ??????????
?????????????, ?????????????????????? ??? ?????? ?? ??? ?????? ?????? ?????????????? ?????? ?????? ?????????? ??????????????
????????????????? ? ?????????????????? ? ?????? ??????.

????????? ?????????????? ?????????????? ?????? ?????????? ?????????????????? ?????????????? ?????????????????? ?????????????? ?
????? ?????? ?????? ?????????????????? ? ?????????? ???????, ?????????? ?? ???????????, ? ?????? ?????? ??????,
????????? ? ?????????? ?????????? ? ?????????? ? ?????????? ?????????????????? ?????????? ????. ??????? ?????????????????? ????
????????? ?? ?????? 10-15 ??? ?? ?????????????? ?????????????????? ??????.

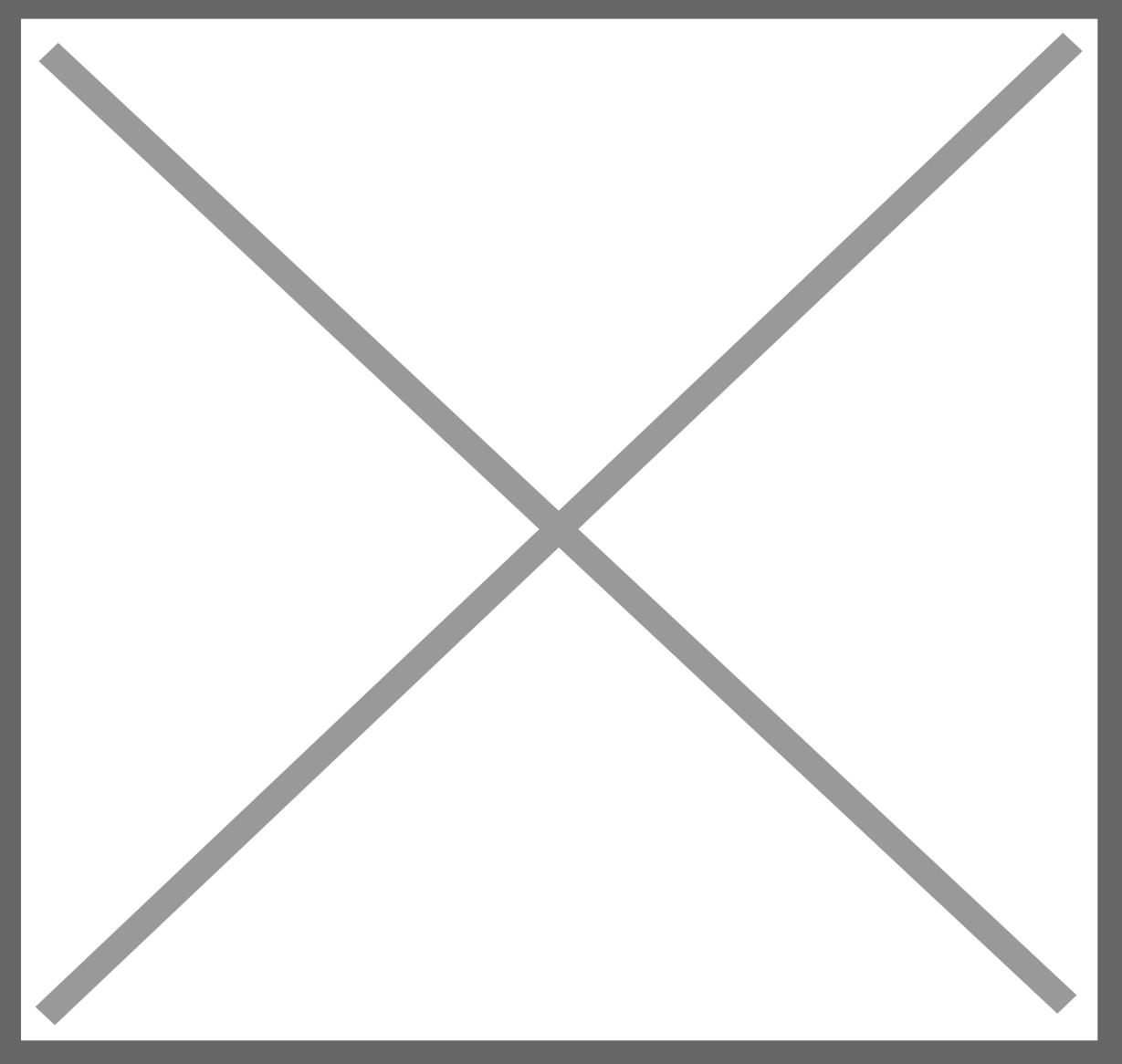
???????????? ? ?????????? ? ??????????????? ? ?????????? ? ?????????????? ?????? . ??? ? ?????????? ? ?????????? ? ?????????? ?
????????? ? ?????????????? ???? ? ?????? ???? ? ?????? ? ?????? ? ?????? ? ? ?????? ???? ? ? ? ?????? ???? ? ? ? ?????? ?
????????????? ?????. ?? ???? ???? , ??? ???? ? ??????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

????????? ??????????? ???? ?????? ????-????????????????? ???? ?????? ?????

????????????? ?????????????????? ??????????????????, ?????????????? ??? ???? ?????????? ??????????????-?????????????
????????? ??????????????, ???????????, ??? ?????????? ?????????????????? ?????????? ?????? ?????? ?????? ?????? ? ??????
?????????. ?????? ?????????? ??????? ?????????????????? ?????????? ?????????? ? ?????????? ?????? ? ?????????? ? ??????????
????????????? ?? ?????????? ?????????????????? ????. ?? ??. 2 ?????????????? ?????????????????? ??????????????????
????? ?????????? ?????????? ???? ?????? ?????????? ?????????? ??????????-????????????? ?????????? ? ?????? ?
????? ??????.

??????????, ??? ?????????????? ? ?????????????? ?? ??????????? ?????????????? ?????????????????? ?????????? ?????? ???????????
?????????????. ??? ??? ? ?????????? ??????????????-????????????? ??????????? ?????????????? ?????????? ?????????? ??????????
????????????? ??????????????, ?????????????, ??????????????????????, ?????????????? ? ?????????????-?????????????. ??????
????????? ??????????????, ??? ?????????????? ?????????, ?????????? ?????????????? ?????????????? ??????????????. ??????
?????????????-????????????? ?????????????? ?????? ??? ??????????????. ??? ?????????????????? ? ?????????? ??????
????????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ? ??????????????, ?????????? ??????????
????????????? (????????? ?????????????????????? ?????????), ??? ????? ?????????????? ?????????? ??????????, ???
????????? ? ?????????? ?????????? ?????????????? ?????????????? ?????????? ?? ??????????????.

????????????? ?????????????? ?????????????? ??? ??????? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ?????????? ??????????????
??????, ??? 10 ????. ?????? ?????????????? ?????????????? ??????????????, ??? ??????? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ?????
????????????????? ?????????????? ?? 2-20 ?. ??? ??? ?????? ?????????? ?????????? ?????? ?????????????? ?? 20-80 ?, ? ???
????????????? ?????????? ?????????? ?? ?????????????? ?????????????? ?? ??? ?????????? ?? ?????????????? ?? ?????????????? ?? ?????????????.
??? ????. ????. ?????? ????-, ???, ??? ??????????????-????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ??????????
????????? [37-41] ?????????? ?? ??????????.



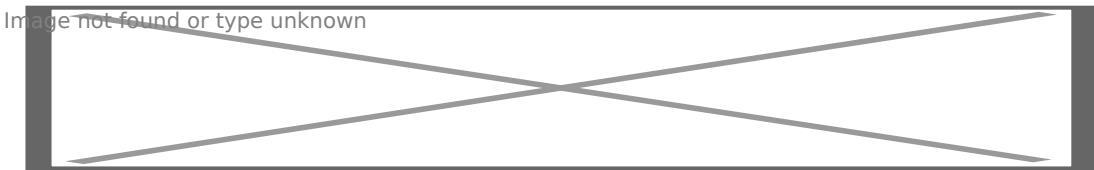
?) ?????? 08?18?9?, ?????? ?????????? 20-30 ???; ?) ?????? 08?18?9?, ?????? ?????????? 20-30 ???; ?) ??????
08?18?9?, ?????? ??????? 50 ???; ?) ?????? 95?18, ?????? ?????????? 10-50 ???;
?) – ?????? 95?18, ?????? ?????????? 10-40???: ?) ?????? 95?18, ?????? ?????????? 10-30 ???;
?) ?????? 95?18, ?????? ?????????? 10-60???: ?) ?????? 95?18, ?????? ?????????? 10-20 ???;
?) ?????? 08?18?9?, ?????? ??????????; ?) ?????? 08?18?9?, ?????? ?????????? ?????????? ?????? ??????
?????????????; ?) ?????? 08?18?9?, ?????? ?????????? ? ?????????? ?????????? ??????????; ?) ??????
08?18?9?, ?????? ??????; ?) ?????? ????? LSM, ?????? 30 ???; ?) ?????? ????? LSM, ?????? 30
???: ?) ?????? ????? LSM, ?????? ??????; ?) – ?????? ????? LSM, ?????? ?????? ??????
????????? 2 – ?????? ?????????? ?????????????? ??? ?????? ?????????? ?????? ?????? ??????
????????? ?????? ?????? ? ?????????? ?????? ?????? ?????? ? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ? ??????????
????????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?? ??????, ?? ??????, ??? ?????? ?????? ?????? ??????
????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ??????
????? ?????? ?????? ?????? (???. 3).

?)

???

?)

???



?) ??? ??????? ??????? ??????????? ? ??????? ?????? ??????? ???????;
?) ??? ??????? ??????? ??????? ? ??? ??????? ??????? ???????????

????????? 3 – ?????????? ?????????????? ?????????? ?????????? ?????????
?? ?????????? ? ??????????

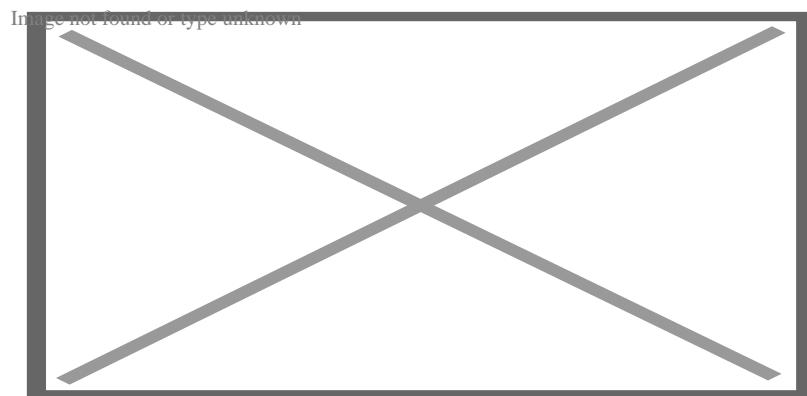
4 ?????????????? ??????????????

4.1 ??????????????, ?????????????? ??? ?????????? ??????????

? ?????????? ?????????? ??????????????-?????????? ?????????? ???? ???? ?????????????? ?????????? ????
????????????????? ??????????, ?????????????? ??? ?????? ??????. ? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ??????,
????????? ? ??????, ?????????? ???????

4.1.1 ??????? ??????

??? ?????????? ??????????????-?????????? ?????????? ?????????? ?????????????? ?????????????????? ?????????? ?????????? ?
 ?????????? ??????: ?????????????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ? ?????????????? ?????? ?? 2 ?? ? ??????, ???
 ?????????? ?????? ?????????????? ? ??????????140-380 ?, ??? ?????????? ?????????????? ?????????????? ??????????????
 ?????????? ??????????, ??? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????????????? ?????????????????? ??? ?????? ??????????????????,
 ?????????? ?????????????? ?????????????? ??? 38 ° ? ??. (???. 4).



1 ? 3 ??; 2 – 5 ??; 3 – 10 ??

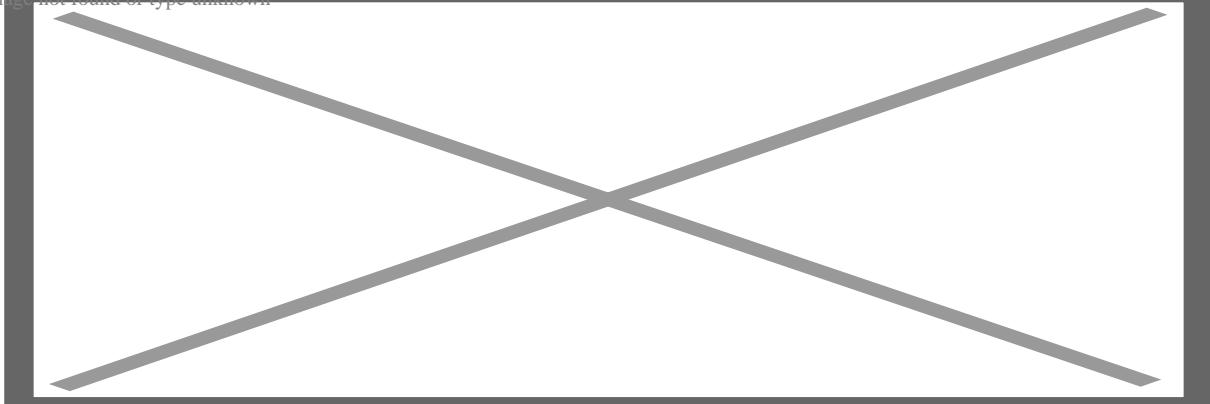
????????? 4 – ?????-????????? ?????????????????? ?????????? ? ???????????
?? ?????? ?????????????????? ??????

?????? ??????? ??????? ? ???, ??? ?????? ?????? ? ?????? ?????????????? ?????????? ???????,
?????????? ? ??????. ?? ??? ?????? ? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????????????? ?????? ?????????? ?????? ???????
????????????? ??? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ?????? ?????? ?????? ???????
????????????? ?????????? ?????? ? ?????? ?????? ? ??? ?????????? ?????????? ?????? ?????? ?????? ???????
????? ? ?????? ?????????? ??? ?????????? ? ?????? ?????? ??? ?????? (????) ?? ??? (???. 5). ? ??????????
????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ?????? ?????????? ? ?????????? ?? ? ?????????? ?????? (???.
5, ?). ?????????? ?????? ?????? ?????? ? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? 0,63 ??, ? ?????? ?????? ??????????
?????? 159 ?? ? ???.

4.1.2 ??????? ??????

????????????? ??? ? ??????? ??????????-????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ??????????
????????? ? ?????? ? ?????????? ?????? ??? ?????? ?????? ?????????????? ??? ?? 10? ?? 10? ??/ ?
????????????? ?????????? ?????????? (????????? ?????? ?????????? ? ??????????) ?????????? ? ???,
??? ? ??? ?????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?????? ??????????,
??? ??????. ?????? ??? ?????? ?????????? ?????????? ?? ??? ?????? ??????, ?????????? ?????????? ??????????
????????????? ?????.

Image not found or type unknown



) ?????? ?????? ??????? ??? ?????? ?????? ?????? ??????;) ?????? ?????? ?? ?????????? ??????; ?)
????????????? ?????????? ?????? ?????? ?????? ??????

????????? 5 – ??????? ??? ??? ?????????? ? ?????????? ??????

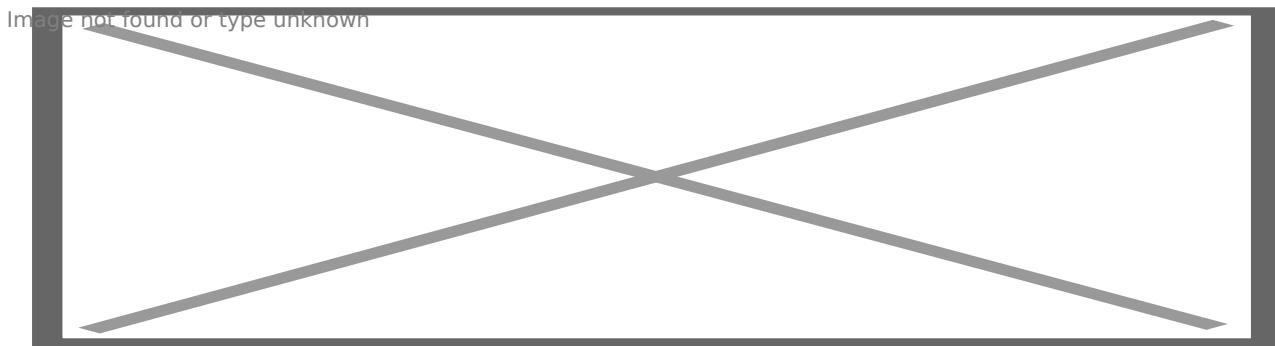
????????? ??????? ????? ???? ??????????? ??????? ? ??????? . ? ?????? ? ?? ? ??????? ?????????? ? ??????????? ? ???????????
 ?????????? ?????????? ??????????? ?????? ?????????? ?????? ? ??? ?????????? ?????????? ?????? ?????? ?? 150 ??? (???.
 6, ?, ?). ?????????? ??????? ?????????? ? ?? ?????????? ?????????? ?????? ? ?????? ?????????? ?????? ? ?????? ?????? ??????
 ?????????? ???????, ??????????? ? ?????? ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?????? ?????? ? ?????? ?????? ??????
 ?????????? ?????????? ?????? 0,009-2,306 ?? ??? ?????? ?????????? ?????? ?? 2,95·10?? ?? 5,4·10??
 ?. ?????? ??? ?????? ?????????????? ?????? ?????? ? ?????? 1. ?????????? ?????? ?????? ??????
 ?????????? ?? ??????????, ?????????? ??? ?????? ?????? ?????? ?????????????????? ?????????? [7, 11].

a)

6666

б)

6666



) ?????? ??? ???????, ?????????? ?????????? ??????????????;
) ?????? ??????? ?????????? ? ?????????? ?????? ??????

?????? 6 – ??? ?????? ??????? ????????

?????? 1 ? ?????? ?????? ??????? ???????, ?????????????? ? ??? ????????

????? ????	?????	?????	?????	???????
??????, ??	3,0	5,0	3,0	5,0
??????, ??	0,15	0,15	0,15	0,15
????? ???????, ??	4,08	11,31	4,08	22,33
?????, ??3	0,532	1,474	0,532	2,912
?????????? ?????? ???????????, ???	10	30	50	70
?????? ???????????, ???	5	15	25	35

????? ??????? ??????????????, ??	0,00000201	5,422E-05	0,00003272	0,00068874
????? ??????????????, ??3	0,00000026	7,07E-06	0,000251	0,0008980
????? ????. ?????????????? ? ????. N,  ??	2029850,75	208576,17	124694,38	32427,33
????? ??????????????-?????????/?	33830,85	3476,27	2078,24	540,46
???????. ?????????? ?????????? ?, 1/?	2,95·10??	2,8·10??	4,8·10??	1,9·10??
????? ??????? ???????, Q, ??	18630	10670	20250	23085
???????. ?????????? ??????? Q _p , ??	0,009	0,051	0,162	0,712

4.1.3 ??????, ????????

????????? ???????, ?????????? ?????????? ??? ?????????????-????????????? ?????????? ?????????????? ? ?????????????? ??????????????, ???????, ?????????? ??????? ?????? ??????. ?????? ?? ?????? ?????????????? ?? ?????????? ?????? ? ?????????? ??????, ?????? ?????????????? ? ?????????? ??????, ? ?????????? ?????? ?????????????????? ? ?????????? ?????????????? ?????????? ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?????? ?????? ?????? 1·10⁻³·1·10⁻⁴ ?? ?? ?????? ???????, ?????????? 9–80 ?? (???. 7).

800 222222 or type unknown

?) ?????????????? ???????; ?) ?????????????? ???????

????????? 7 – ?????????????? ?????????? ?????????????? ?????????????? -????????????? ??????????

?????? ?????????? ??? ?????????? ??????????????-?????????? ?????????? ?? ??????? ?????? ?????????? ?????????? ??????? [34, 35] ? ?? ?????????? ?????????? ?????? ?????????????? ?????????? ?????? [33] ??? ?????? ?????? ?????? ?????? ??? ??????????-?????????? ?????????? ? ?????? (????, 2).

????????? 2 ? ????????, ?????????? ? ?????????? ??????

V	A	??	V	A	??
225	0,8-5,6	9-80	300-400	0,14-0,80	0,01-0,32

4.3 ?????????????? ??????????????????

???? ?????????????? ?????????????????? ?????????????????? ??? ???? ?????????? ?????????????? ? 300 ?, ??? ??????????????????
?????? ??????????????-?????????? ?????????? (???. 9.). ?????? ?????????????? ?? ??????:

$$\operatorname{div} \nabla U = -\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \quad (2)$$

??? *U* – ?????????? ?????????????????????? ????, ?; ? – ?????????????????? ??????????????, ??/??; ? – ?????????? ?????????? ?????????? ?????????, ??/??.

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

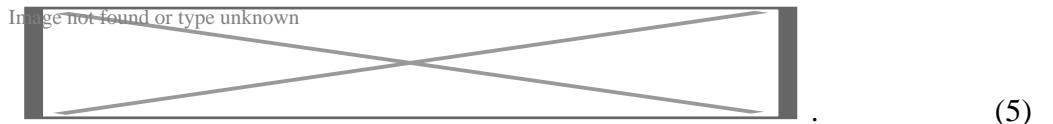
 . (3)

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

Image not found or type unknown (4)

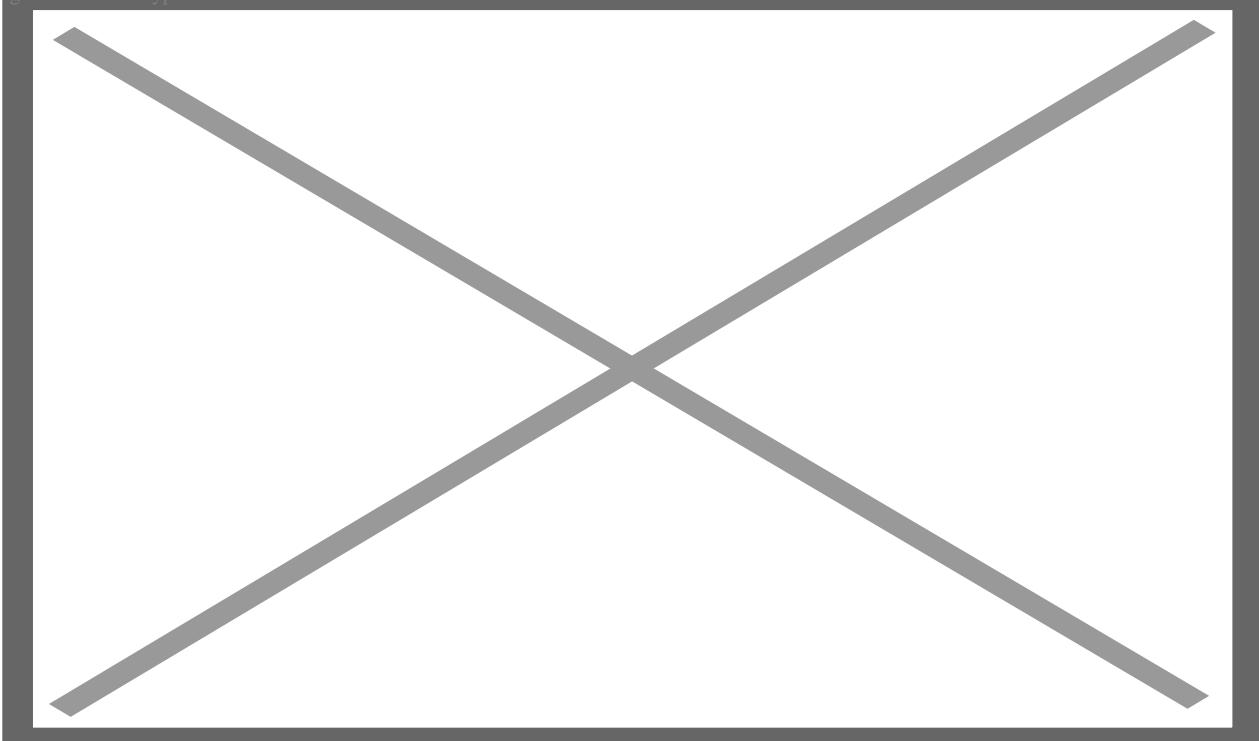
??? ? – ?????????? ?????????????????? ?????????? ?????? (????????????); E – ?????? ?????????????? ?????????????????? ????.

??? ?????????????? 2D ??????, ?????????? (4) ?????? ?????????? ???:



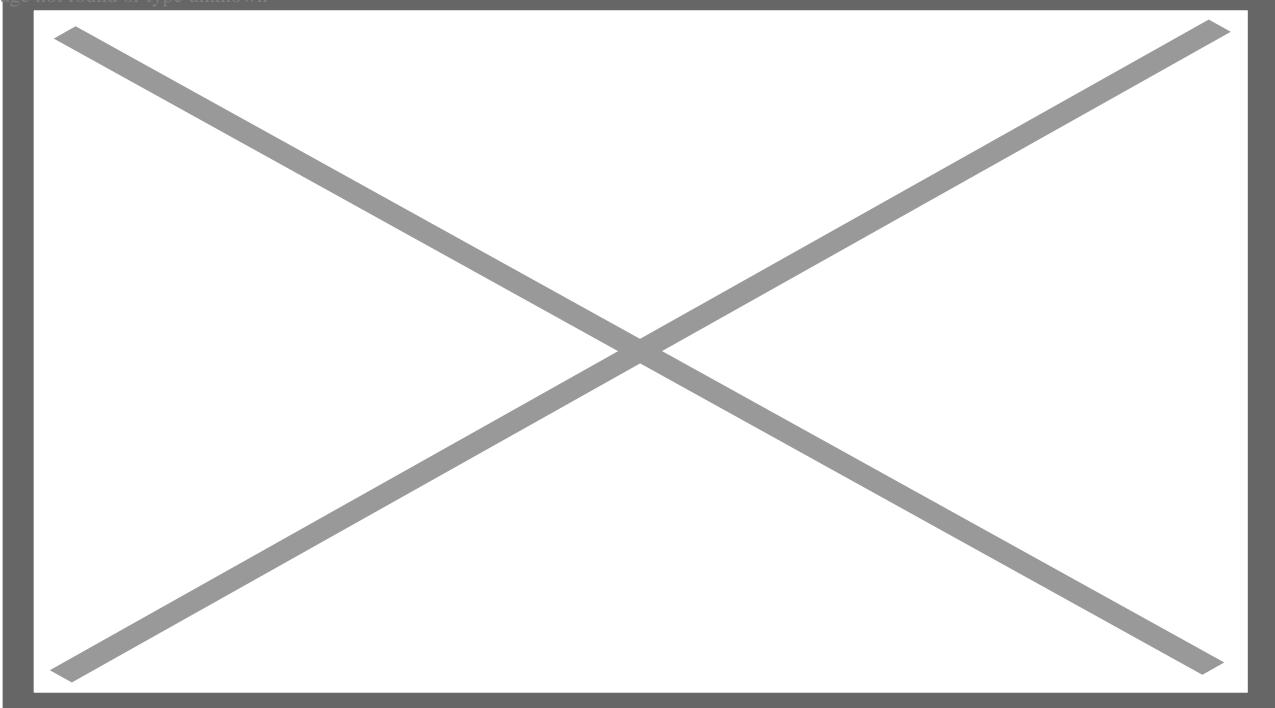
???? ?????????? ??????? ????? ?????????? ?????????????????? ?????? ?????????? ?????? ?????? ?????????????????? ??
????????????? ?????????? ???????, ?????????????? ?? ?????? ?????????????? ?????????? ?????? ? ?????? ??
????????????? ?????? ? ??????????????, ?????????????? ???? ? ?????? ?????????? ?????? ?????? ?????? 5×5 ?.
????? ?????????????? ??? ??????, ?????????????? ?????????? ?????????? ??????, ??? ?????????? ?? ????
????????? ?? 1 ?? 5 ? ? ??? ?????????? ???????, ?????????????? ?? ?????????? ? ?????????? ? ?????????? ??
????? 10-45°. ??????? ??????? ??? ?????? ?????? ?????? ?????? ??????. ?? ?????????? ?????? ??????
????? ?????????????? ?????? ??????????.

Image not found or type unknown



?)

Image not found or type unknown



?)

?) ??? ???????????? ?????? ?????????????? ? ???????? ?????????? ??????? ???????, ?????????????? ???????????
????????????; ?) ??? ?????????? ?????? ?????????????? ? ???????? ?????????? ??????? ???????, ??????????????
??? ??? ? ????????????

??????? 9 – ?????????? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ????

????????? ?????????????????? ?????????????????? ???? ?????????????, ???? ???? ?????????????? ? ?????????????? ?????? ??
?????????? ?? ??????????? ???? ?? ??????????? ?????????????? ?????????????? ?????? ???? ??????????????????????
?????????? ??????? ? ?????????????????????? ??????????? ?????????? ?????????? ?? ?????????? ?????????? ?????? ????
????????? ? ?????????????????????? ?????? ?????????????? ?????? ???? ?????????????????? ?????????? ? 1 ???? ??????????
4,76·10? ??/, ?? ??? ?????????? ???? ?????????? ?????? ?????? ??????????, ?????????????? ?? ?????????? ? 10 ??,
????????????? ???? ?????????? 1·10¹² ??/. ?? ??? ?????? ?????? ?????????????? ?????????????????? ????
????????????? ???? ?????????? ???? ? ?????? ?????????? ?????? ?????? ??????????????. ???? ??????????????
?????????-?????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ? ?????????? ? ?????? ??????
??? ????????, ?????????? ? ?????????????????? ?????? ?????? ??????????????????, ?????? ???? ???? ???? ????
????????? 10-500 ????. ??? ?????????? ?????????? ?????? ?????????? ?????????????? ?????????????? ????. ?? ??????,
?? ?????? ??????, ?????????????? ?????????????? ?????????? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ??????????????
????????? ? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ? ?????? ?????? ?????????????? ???? ? ???? ??????
????????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ??????. ?????? ?????? ?????? ????
????????? ???? ?????????????? ???? ?????????????????? ?????? ?????? ?????????? ?????????? ??????????, ?????? ?????? ?????????? ?
????????? 1.25·10? 1/, ??? ? ?????????? ?????????? ?? ?????????? ?????????? ??????, ??????, ?????????? ? ??????????
????????? ??????. ?????? ? ???? ??? ?????????? ???? ?????? ?????? ???? ?????? ?????? ?????????? ??????????????
????????? ????.

5 ??????????? ? ????????????

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

???????:

1 ? ?????????? ?????????? ??????????????-?????????? ?????????? ??? ?????? ?????????? ?????????????? ??????????????
????????? ?????????? ?????? ?????????????? ??????????: ???????, ?????????? ? ??????, ??????? ??????.

2 ?????????? ? ?????????? ??????? ?????? ?????? ?????? ???? ? ?????? ?????? ?????? ?? 0,001 ?? 159 ??.

4 ?????????? ??????????? ?????????? ???? ???????, ?????????? ?????????? ???????, ?????????? ? ?????????? ? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ?????? ?? ?????????? ? ??? ?????????? ?????????? ???????, ??? ?????? ?????????? ?????????? ???????, ?????? ?????? ?????????? ? ?????????? ?????????? ???????, ?????????? ???????.

5 ?????????????? ??? ?????????????? ??????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? 0,009 ?? ??? ?????????
????????????-????????????? ??????????, ?? ??? ?????, ?????????? ?????????? ? ?? ?????????? ? ?????? ??????
????????? ?????????????? ?????????????.