

Д-р техн. наук В.П. Надутый,
канд. физ.-мат. наук А.М. Эрперт,
канд. техн. наук Е.З. Маланчук
(ИГТМ НАН Украины)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАВИСИМОСТИ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОНКОГО ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОЧЕНИЯ
БАЗАЛЬТОВОГО СЫРЬЯ ОТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА
РУДОПОДГОТОВКИ**

Представлено результати експериментальних і теоретичних досліджень залежності ефективності тонкого віброгрохочення базальтової сировини від шести регульованих параметрів, які прийнято факторними ознаками у розроблених регресійних залежностях.

**RESULTS of RESEARCHES of DEPENDENCE
EFFECTIVENESS THIN VIBRATING SCREENING
of BASALT RAW MATERIAL FROM PARAMETERS
of PROCESS ORE PRETREATMENT**

The results of experimental and theoretical researches of dependence of effectiveness thin vibrating screening of basalt raw material from six regulated parameters are submitted which are accepted by factoring attributes in developed regression dependences.

При отработке технологии комплексной переработки базальтовой горной массы возникает необходимость тонкой классификации по крупности. Это связано с возможностями магнитной и электрической классификации, поскольку во всех трех составляющих перерабатываемой горной массы (базальт, туф, лавобрекчия) содержатся титаномагнетит и самородная медь в количествах, представляющих промышленный интерес. Комплексная переработка заключается в эффективном отделении полезных металлов от силикатной массы [1]. В исследуемом случае тонкая классификация осуществлялась на вибрационном грохоте специальной конструкции [2] с регулируемыми параметрами привода (β , град. – угол наклона возмущающей силы; ω , об/мин – частота колебаний короба грохота), регулируемым углом наклона просеивающей поверхности (α , град.), ее длиной (L , м) и удельной нагрузкой (q , т/ч·м²).

Целью исследований являлось определение зависимости эффективности тонкого вибрационного грохочения всех трех составляющих базальтового сырья от указанных факторных признаков на ситах грохота с ячейками $a = 0,5$ мм и $a = 0,1$ мм, которые смонтированы в специальных подситниках грохота над поддерживающим эластичным динамически активным ситом [2]. При этом исследуемые характеристики эффективности определялись для трех плотностей базальтовой горной массы карьерной добычи: для туфа – $\gamma = 1,4$ г/см³; для лавобрекчии – $\gamma = 2,2$ г/см³; для базальта – $\gamma = 2,6$ г/см³. Эти составляющие из отвальной горной массы карьера извлекаются селективно и перерабатываются отдельно [3].

Полученные экспериментальные зависимости эффективности грохочения от варьируемых факторов идентифицировались многофакторными регрес-

сионными зависимостями [4]. Результаты экспериментов (штриховыми линиями) и расчетов (сплошными линиями) представлены на графиках. При этом кривые 1 – для туфа, кривые 2 – для лавобрекчии, кривые 3 – для базальта.

Поэтапно рассматривалась модель с вариацией угла наклона возмущающей силы вибровозбудителя в виде следующих регрессионных моделей:

$$\hat{E} = f(\gamma, \beta) \text{ при } a = 0,5 \text{ мм;}$$

$$\hat{E} = f(\gamma, \beta) \text{ при } a = 0,1 \text{ мм;}$$

$$\hat{E} = f(a, \gamma, \beta).$$

Результаты расчетов приведены для модели $\hat{E} = f(\gamma, \beta)$ в табл. 1, а в табл. 2 – для модели $\hat{E} = a_0 + a_1a + a_2\gamma + a_3\gamma^2 + a_4\beta + a_5\beta^2$.

Таблица 1 – Расчет параметров зависимости $\hat{E} = f(\gamma, \beta)$

$a, \text{ мм}$	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	R^2	F
0,5	-98,4	4,58	2,95	5,85	-0,06	0,982	173,9
0,1	-69,4	-26,7	9,89	5,38	-0,054	0,968	98,5

Таблица 2 – Расчет параметров зависимости $\hat{E} = a_0 + a_1a + a_2\gamma + a_3\gamma^2 + a_4\beta + a_5\beta^2$

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	R^2	F
-92,8	29,72	-11,04	5,61	5,61	-0,057	0,973	213,8

Полученные множественные коэффициенты детерминации R^2 и статистика Фишера F показали удовлетворительную сходимость экспериментальных и расчетных характеристик, представленных на рис. 1.

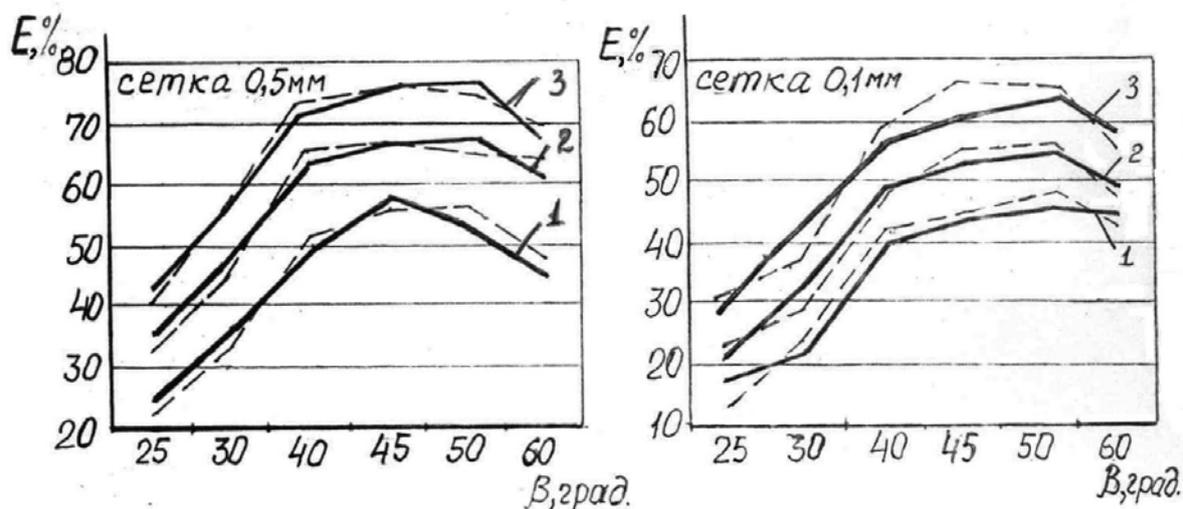


Рис. 1 – Зависимость эффективности грохочения от угла наклона возмущающей силы вибровозбудителя $\hat{E} = f(\gamma, \beta)$

Модель, описывающая зависимость эффективности тонкого грохочения от угла наклона грохота рассчитывается в виде:

$$\hat{E} = f(\gamma, \alpha) \text{ при } a = 0,5 \text{ мм};$$

$$\hat{E} = f(\gamma, \alpha) \text{ при } a = 0,1 \text{ мм};$$

$$\hat{E} = f(a, \gamma, \alpha).$$

Результаты расчетов для зависимости $\hat{E} = f(\gamma, \alpha)$ приведены в табл. 3

Таблица 3 – Расчет параметров зависимости $\hat{E} = f(\gamma, \alpha)$

a , мм	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	R^2	F
0,5	67,67	-11,0	6,25	-1,59	-0,0104	0,99	264,1
0,1	44,54	2,5	2,92	-1,18	-0,0158	0,995	460,8

Для зависимости $\hat{E} = a_0 + a_1\alpha + a_2\gamma + a_3\gamma^2 + a_4\alpha + a_5\alpha^2$ результаты расчета приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Расчет параметров зависимости $\hat{E} = a_0 + a_1\alpha + a_2\gamma + a_3\gamma^2 + a_4\alpha + a_5\alpha^2$

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	R^2	F
51,06	16,8	-4,25	4,58	-1,39	-0,0131	0,987	373,7

Удовлетворительная сходимость экспериментальных и расчетных данных по этой зависимости показана на рис. 2.

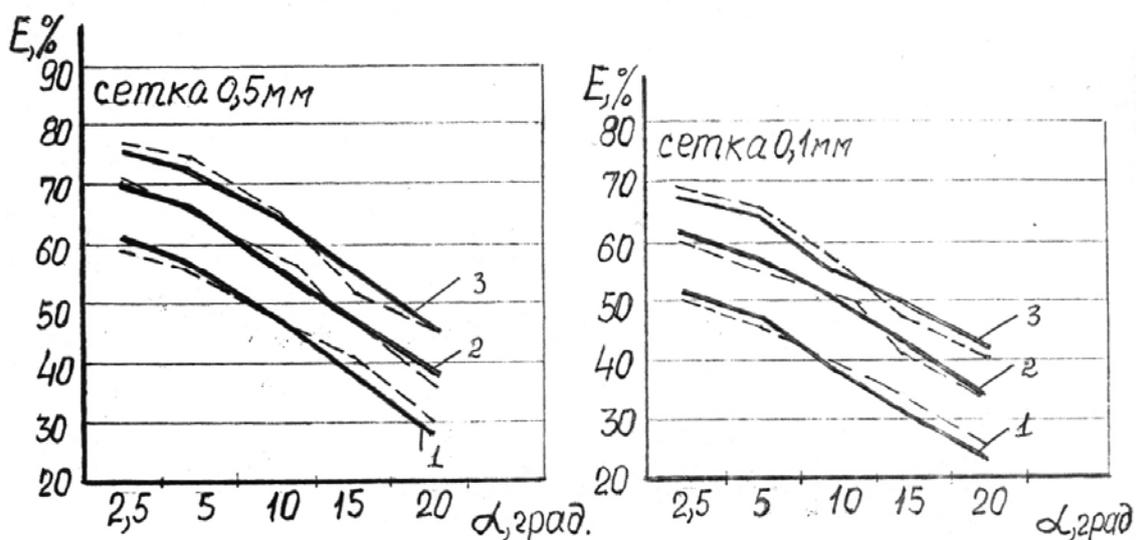


Рис. 2 – Зависимость эффективности грохочения от угла наклона просеивающей поверхности $\hat{E} = f(\gamma, \alpha)$

Влияние частоты возмущений вибровозбудителя грохота определялось экспериментально и рассчитывалось регрессионными моделями в виде:

$$\hat{E} = f(\gamma, \omega) \text{ при } a = 0,5 \text{ мм};$$

$$\hat{E} = f(\gamma, \omega) \text{ при } a = 0,1 \text{ мм};$$

$$\hat{E} = f(a, \gamma, \omega).$$

Результаты расчетов приведены в табл. 5 и 6 и иллюстрируются графиками на рис. 3.

Таблица 5 – Расчет параметров зависимости $\hat{E} = f(\gamma, \omega)$

$a, \text{мм}$	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	R^2	F
0,5	-14,62	-2,0	3,75	0,087	-0,000031	0,919	28,3
0,1	-33,63	10,0	0,0	0,094	-0,000034	0,973	91,1

Таблица 6 – Расчет параметров для зависимости $\hat{E} = a_0 + a_1a + a_2\gamma + a_3\gamma^2 + a_4\omega + a_5\omega^2$

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	R^2	F
-28,3	14,0	4,0	1,88	0,091	-0,0000325	0,94	75,3

Сходимость экспериментальных и расчетных результатов показана на рис. 3.

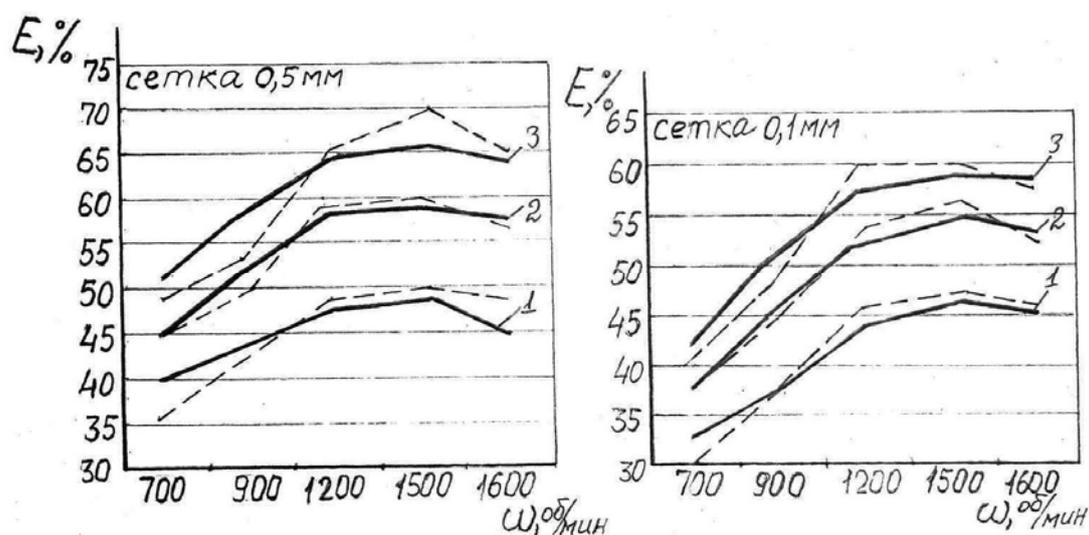


Рис. 3 – Зависимость эффективности грохочения от частоты колебаний короба грохота $\hat{E} = f(\gamma, \omega)$

Колебания удельной нагрузки на грохот сказываются на его эффективности, поэтому характер такой зависимости определялся экспериментально и рассчитывался регрессионной моделью в виде:

$$\hat{E} = f(\gamma, q) \text{ при } a = 0,5 \text{ мм};$$

$$\hat{E} = f(\gamma, q) \text{ при } a = 0,1 \text{ мм};$$

$$\hat{E} = f(a, \gamma, q).$$

Результаты расчетов приведены в табл. 6, 7, 8 и иллюстрируются графиками на рис. 4.

Таблица 7 – Расчет параметров зависимости $\hat{E} = f(\gamma, q)$

$a, \text{мм}$	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	R^2	F
0,5	61,54	4,58	2,08	-5,93	0,244	0,981	172,2
0,1	53,5	-4,5	5,73	-2,83	-0,196	0,985	210,5

Таблица 8 – Расчет параметров для зависимости $\hat{E} = a_0 + a_1a + a_2\gamma + a_3\gamma^2 + a_4q + a_5q^2$

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	R^2	F
48,23	30,97	-1,46	3,91	-4,38	0,0238	0,995	1187,9

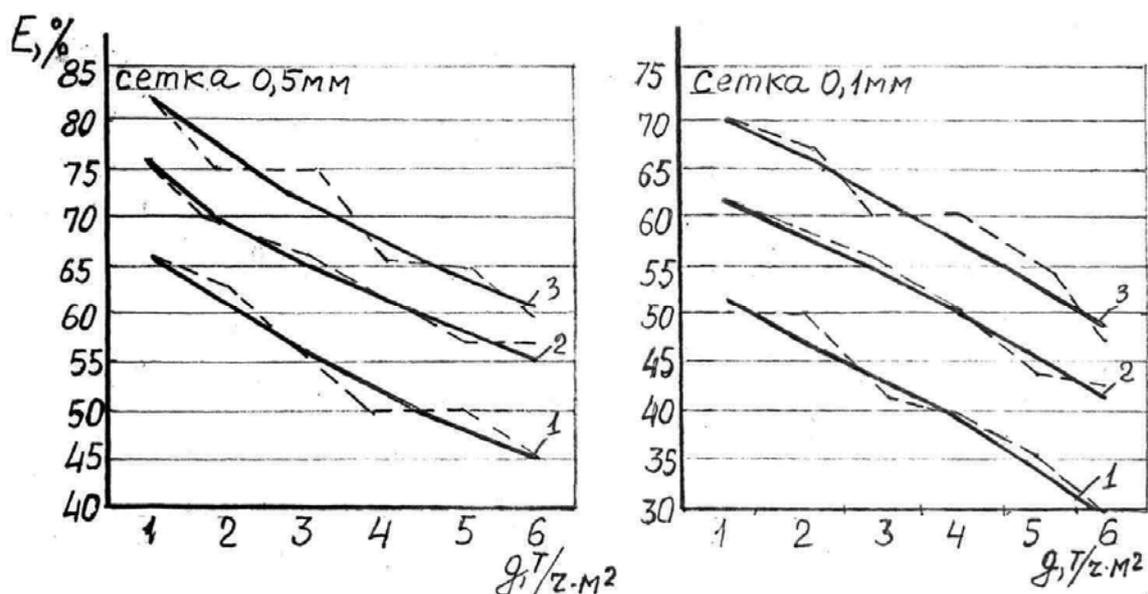


Рис. 4 – Зависимость эффективности грохочения от удельной нагрузки на грохот $\hat{E} = f(\gamma, q)$

Зависимость эффективности тонкой классификации от длины просеивающей поверхности грохота экспериментально получена путем многократного возврата надрешетного продукта с разгрузочной части в загрузку. Результаты экспериментов иллюстрируются графиками на рис. 5, а модельное представление рассчитывалось регрессионными моделями в виде:

$$\hat{E} = f(\gamma, L) \text{ при } a = 0,5 \text{ мм};$$

$$\hat{E} = f(\gamma, L) \text{ при } a = 0,1 \text{ мм};$$

$$\hat{E} = f(a, \gamma, L).$$

Результаты расчетов приведены в табл. 9 и 10.

Таблица 9 – Расчет параметров зависимости $\hat{E} = f(\gamma, L)$

$a, \text{мм}$	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	R^2	F
0,5	12,8	-7,5	4,17	15,91	-1,32	0,991	365,6
0,1	-5,82	13,75	-1,56	11,34	-0,96	0,984	194,1

Таблица 10 – Расчет параметров для зависимости $\hat{E} = a_0 + a_1a + a_2\gamma + a_3\gamma^2 + a_4L + a_5L^2$

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	R^2	F
-4,38	26,25	3,125	1,30	13,63	-1,14	0,966	171,9

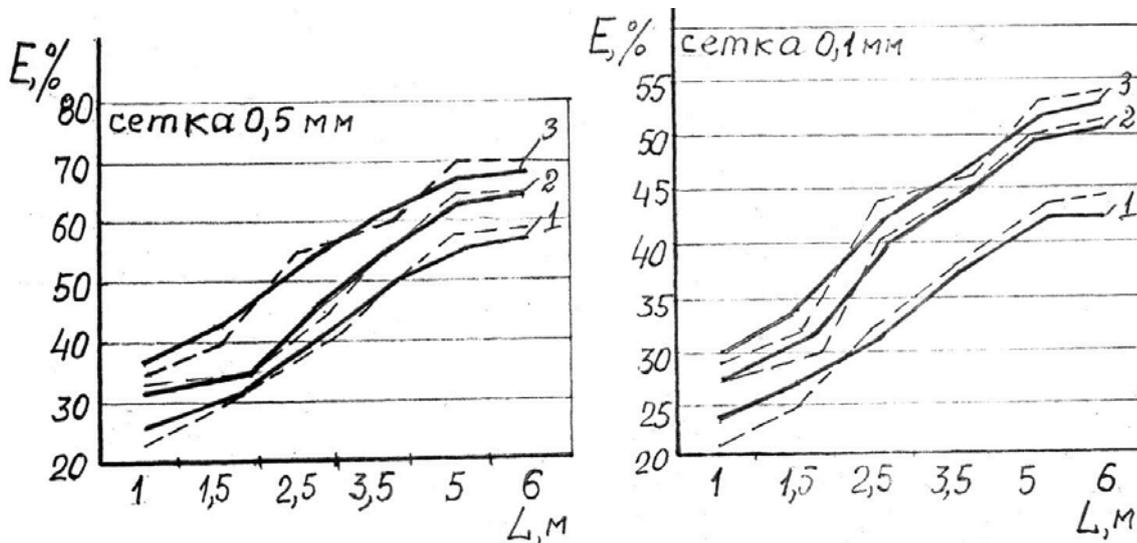


Рис. 5 – Зависимость эффективности грохочения от длины просеивающей поверхности $\hat{E} = f(\gamma, L)$

Выводы

1. При анализе полученных регрессионных моделей и приведенных результатов расчетов видно, что коэффициент детерминации во всех рассмотренных случаях больше 0,9 и в ряде случаев близок к единице. Следовательно, коэффициент множественной корреляции для всех моделей больше 0,95, что свидетельствует о наличии сильной корреляционной связи между эффективностью грохочения и факторами, включенными в регрессионные модели.

2. Статистика Фишера F во всех случаях больше критического значения, что свидетельствует о хорошей адекватности принятых моделей. Это утверждение также иллюстрируется графическими зависимостями, где опытные данные хорошо согласуются с расчетными. Поэтому полученные зависимости могут служить для обоснования параметров процесса тонкого вибрационного грохочения в процессе рудоподготовки базальтового сырья к комплексной переработке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надутый В.П. Спосіб підготовки мідевмісних базальтів до комплексного збагачення / В.П. Надутый, З.Р. Маланчук // Матер. ІХ Ежегодной междунар. промышл. конф. п. Славское-Карпаты. – УИЦ "Наука. Техника. Технологія". – Киев, 2009. – С. 363-364.
2. Патент України на корисну модель № 39362. Грохот вібраційний / В.П. Надутый, В.Ф. Ягнюков, І.П. Хмеленко. Заявка U200810796 від 01.09.2008. Опубл. 25.02.2009, Бюл. № 4.
3. Надутый В.П. Исследование закономерностей мелкого вибрационного грохочения базальтового сырья / В.П. Надутый, Е.З. Маланчук, И.П. Хмеленко // Геотехническая механика : Межвед. сб. науч. тр. / Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 94. – С. 144-150.

4. Надутый В.П. Модельное представление зависимости эффективности виброгрохочения при мелкой классификации от регулируемых параметров / В.П. Надутый, Е.З. Маланчук, А.М. Эрперт // Вібрації в техніці та технологіях : Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, 2011. – Вип. 4(64). – С. 21-27.

УДК 622.7:741.6:532.5:536.2

Канд. физ-мат. наук В. И. Елисеев,
инж. А. В. Кривокорытов,
канд. техн. наук В. И. Луценко
(ИГТМ НАН Украины)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ОСТАТОЧНОЙ ЖИДКОСТИ В КАПИЛЛЯРЕ С ПОДСТИЛАЮЩЕЙ СЕТКОЙ

Приведені результати експериментального визначення величині залишкової маси рідини в капілярних трубках і впливу замикаючих сіток. Встановлено, що наявність замикаючої сітки приводить до зменшення висоти рівноважного стовпа рідини, при цьому розмір вічка сітки не впливає на об'єм залишкової маси рідини у капілярі

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF RESIDUAL LIQUID IN THE CAPILLARIES WITH THE GRID OF THE BOUNDING

The results of experimental determination of the residual mass of liquid in capillary tubes and the impact of shorting nets. Established that the presence of closing nets leads to reduce the height of the equilibrium liquid column, and the grid cell size does not affect on the volume of the residual mass of liquid in the capillary.

Влажность породы после обезвоживания связанная с остаточным объемом жидкости в пористой структуре, является важнейшим параметром процесса обезвоживания. Учитывая тот фактор, что при обезвоживании поровые каналы играют основную роль, актуальными являются вопросы опускания жидкости и определения ее остаточной массы в капиллярах.

В [1] представлено математическое описание опускания жидкости в поровых каналах, а так же приведены результаты теоретических исследований влияния колебаний на процесс обезвоживания. В работе [2] приведена математическая модель опускания жидкости в поровом канале переменного сечения. Решаемая в работе задача направлена на установление зависимости величины остаточной жидкости от закона изменения проходного сечения порового канала. В работе [3] исследовалось сопротивление сеток под слоем сыпучего влажного материала и их влияние на процесс обезвоживания, представлены результаты теоретических расчетов и экспериментов по движению жидкости в капилляре, на концах которого закреплялись образцы сеток, используемые в грохотах. Показано, что сопротивление сеток, оказывает значительное влияние на динамику процесса обезвоживания.

Целью исследований данной работы являлось экспериментальное определение величины остаточной массы жидкости в капиллярах при обезвоживании и влияния замыкающих сеток на эту величину. В экспериментах использовались сетки из нержавеющей стали 50, 70, 100, 120 и 160 микрон, которые прикреплялись к нижним торцам стеклянных трубок с внутренним диаметром $5,5 \cdot 10^{-3}$ м.