

*В. И. Прогульный, В. С. Тельпис*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРИТОКА ВОДЫ ЧЕРЕЗ ПОРИСТУЮ ТРУБУ**

Рассмотрены вопросы сбора воды пористыми трубами в условиях безнапорного движения потока. Приведены зависимости для определения притока воды к таким системам.

Отвод воды с помощью пористых труб имеет широкое практическое применение — дренажи и системы отвода промывной воды в водоочистных фильтрах, трубчатые дрены горизонтальных водозаборов и т.п. В связи с этим изучение вопросов сбора и отвода воды такими системами является актуальным.

Наиболее близким к рассматриваемой задаче является движение жидкости через пористую перегородку. Как было показано в [1,2], зависимость потерь напора от скорости фильтрования в этом случае может быть описана степенной формулой:

$$\Delta h = C \delta v^{2-n} V^n, \quad (1)$$

где  $\Delta h$  — потеря напора в пористой перегородке, см;  $\delta$  — толщина перегородки, см;  $v$  — кинематическая вязкость воды, см<sup>2</sup>/с;  $V$  — скорость фильтрования, см/с;  $C$  — коэффициент, зависящий от гранулометрического состава заполнителя полимербетона и плотности его укладки (в случае фильтрования загрязненной воды коэффициент  $C$

учитывает и коагуляцию пор взвешенными частицами);  $n$  — показатель степени, который можно принимать равным 1,67.

Из (1) можно получить выражение для скорости фильтрования

$$V = \left( \frac{\Delta h}{a} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad (2)$$

где  $a = C\delta v^{2-n}$  — комплексный коэффициент, учитывающий свойства пористого полимербетона и фильтруемой воды.

Рассмотрим случай притока воды к пористой трубе, расположенной горизонтально (рис.1).

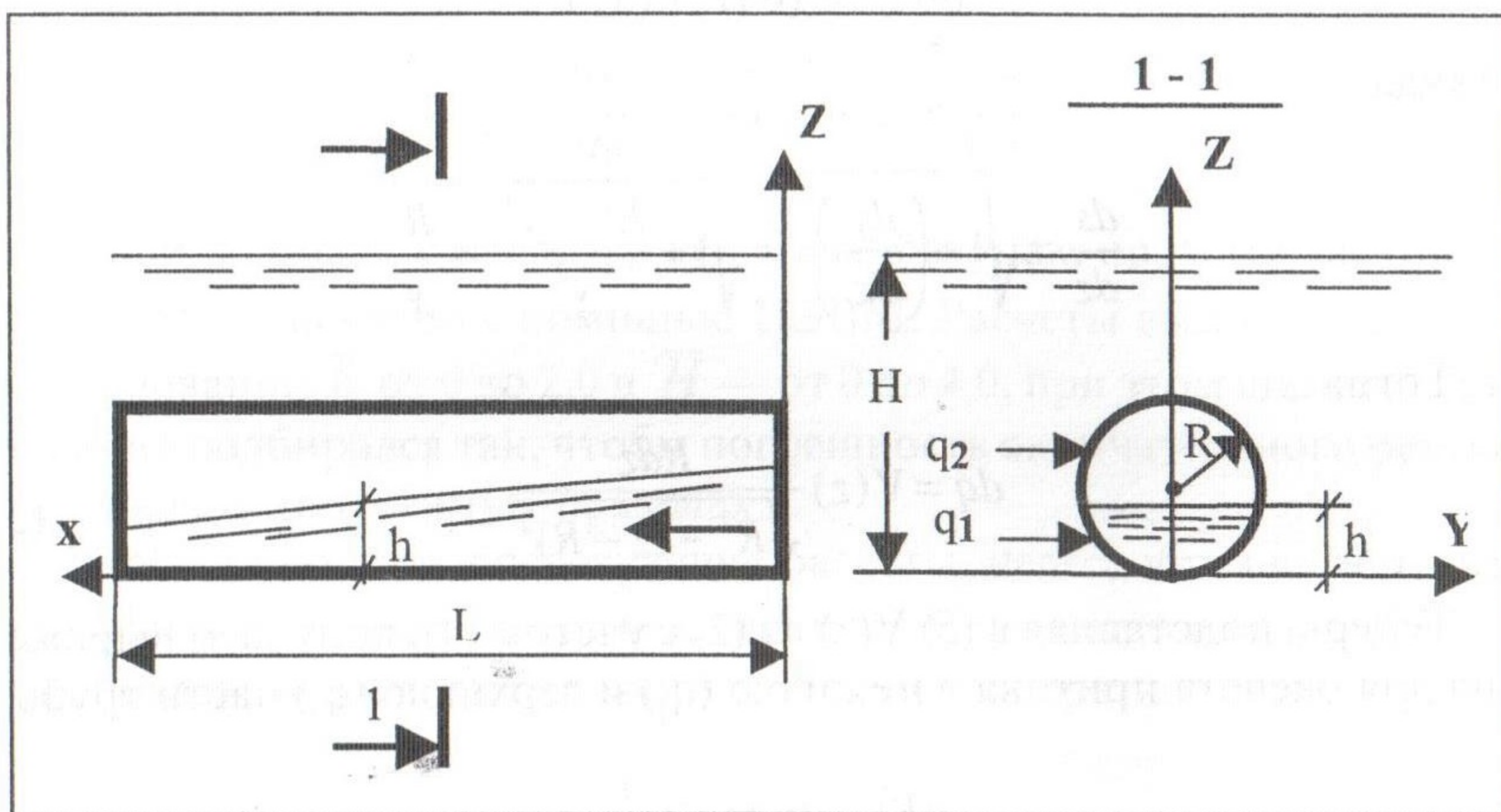


Рис. 1. Схема работы пористой трубы при сборе воды

Приток воды на единицу длины пористой трубы  $q$  определяется как произведение скорости фильтрования  $V$  на длину боковой поверхности трубы  $S$ . Однако, как видно из рис.1, напор, под которым происходит втекание воды в трубы, по высоте переменный (при  $Z > h$ ). Следовательно, будет изменяться и скорость фильтрования. Поэтому необходимо перейти к дифференциальным соотношениям:

$$dq = V(z)ds, \quad (3)$$

где  $V(z)$  вычисляется по формуле (2), в которой потеря напора — величина переменная по высоте и определяемая как разность давлений вне трубы и внутри ее:

$$\Delta h = \begin{cases} H - z & \text{при } h < z < 2R, \\ H - h & \text{при } 0 < z \leq h. \end{cases} \quad (4)$$

Таким образом, при  $z = h$  потеря напора и скорость фильтрования постоянны, а при  $z > h$  — потеря напора и скорость уменьшаются по высоте.

Для последующих расчетов необходимо получить зависимость  $S$  от  $z$  и  $y$ . Для круглой трубы в координатах, показанных на рис. 1, —

$$z = R \pm \sqrt{R^2 - y^2}, \quad y = \sqrt{R^2 - (z - R)^2},$$

$$(dS)^2 = (dz)^2 + (dy)^2;$$

откуда

$$\frac{ds}{dz} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dz}\right)^2} = \sqrt{1 + \frac{R^2 - y^2}{y^2}} = \frac{R}{y}.$$

Тогда

$$dq = V(z) \frac{R dz}{\sqrt{R^2 - (z - R)^2}} \quad (5)$$

Теперь, подставляя в (5)  $V(z)$  из (2) с учетом (4), получаем выражения для расчета притока в нижнюю ( $q_1$ ) и верхнюю ( $q_2$ ) части трубы

$$q_1 = 2 \int_0^h \frac{R(H - h)^{\frac{1}{n}}}{\sqrt{R^2 - (z - R)^2} a^{\frac{1}{n}}} dz, \quad (6)$$

$$q_2 = 2 \int_h^{2R} \frac{R(H - h)^{\frac{1}{n}}}{\sqrt{R^2 - (z - R)^2} a^{\frac{1}{n}}} dz. \quad (7)$$

С учетом безразмерных координат

$$\bar{z} = \frac{z}{R}, \quad \bar{h} = \frac{h}{R}, \quad \bar{H} = \frac{H}{R}, \quad \bar{q} = \frac{q a^{\frac{1}{n}}}{R^{1 + \frac{1}{n}}}, \quad (8)$$

получаем

$$\bar{q}_1 = 2 \int_0^{\bar{h}} \frac{(\bar{H} - \bar{h})^{\frac{1}{n}}}{\sqrt{1 - (\bar{z} - 1)^2}} d\bar{z}, \quad (9)$$

$$\bar{q}_2 = 2 \int_{\bar{h}}^2 \frac{(\bar{H} - \bar{h})^{\frac{1}{n}}}{\sqrt{1 - (\bar{z} - 1)^2}} d\bar{z}. \quad (10)$$

В случае если уровень воды снаружи ниже верха трубы (т.е.  $\bar{H} \leq 2$ ), то верхний предел интегрирования в (10) заменяется на  $\bar{H}$ .

Первый интеграл выражается аналитически [3]:

$$\bar{q}_1 = \frac{8\pi}{360} (\bar{H} - \bar{h})^{\frac{1}{n}} \arcsin \sqrt{\frac{\bar{h}}{2}}, \quad (11)$$

а второй не может быть выражен в квадратурах, поэтому расчет  $\bar{q}_2$  произведен численно с помощью ПЭВМ. Расчеты выполнялись при варьировании  $\bar{h}$  от 0 до 2,0 и  $\bar{H}$  — от 0 до 4,0, при этом шаг интегрирования подбирался так, чтобы погрешность окончательного результата была в допустимых пределах.

Чтобы упростить последующие расчеты, целесообразно получить приближенные аналитические зависимости, связывающие  $\bar{q}$ ,  $\bar{H}$  и  $\bar{h}$ . Как показал анализ, такую зависимость целесообразно искать в форме

$$\bar{q} = \alpha(\bar{h})(\bar{H} - \bar{h})^{\beta(\bar{h})}, \quad (12)$$

где  $\alpha(\bar{h})$  и  $\beta(\bar{h})$  — эмпирические коэффициенты, зависящие от глубины потока в трубе ( $\bar{h}$ ).

Расчет  $\alpha(\bar{h})$  и  $\beta(\bar{h})$  производился методом наименьших квадратов. В результате для  $\alpha(\bar{h})$  и  $\beta(\bar{h})$  получены формулы —

$$\alpha = 1,74\bar{h} + 2,87, \quad (13)$$

$$\beta = 1,03 - 0,212\bar{h}. \quad (14)$$

Коэффициенты корреляции для зависимостей (13) и (14) оказались соответственно равными 0,998 и 0,973.

Степень соответствия уравнения для расчета притока к пористой трубе

$$\bar{q} = (1,74\bar{h} + 2,87)(\bar{H} - \bar{h})^{1,03-0,212\bar{h}} \quad (12^1)$$

и результатов численного интегрирования уравнений (9) и (10) представлена на рис.2.

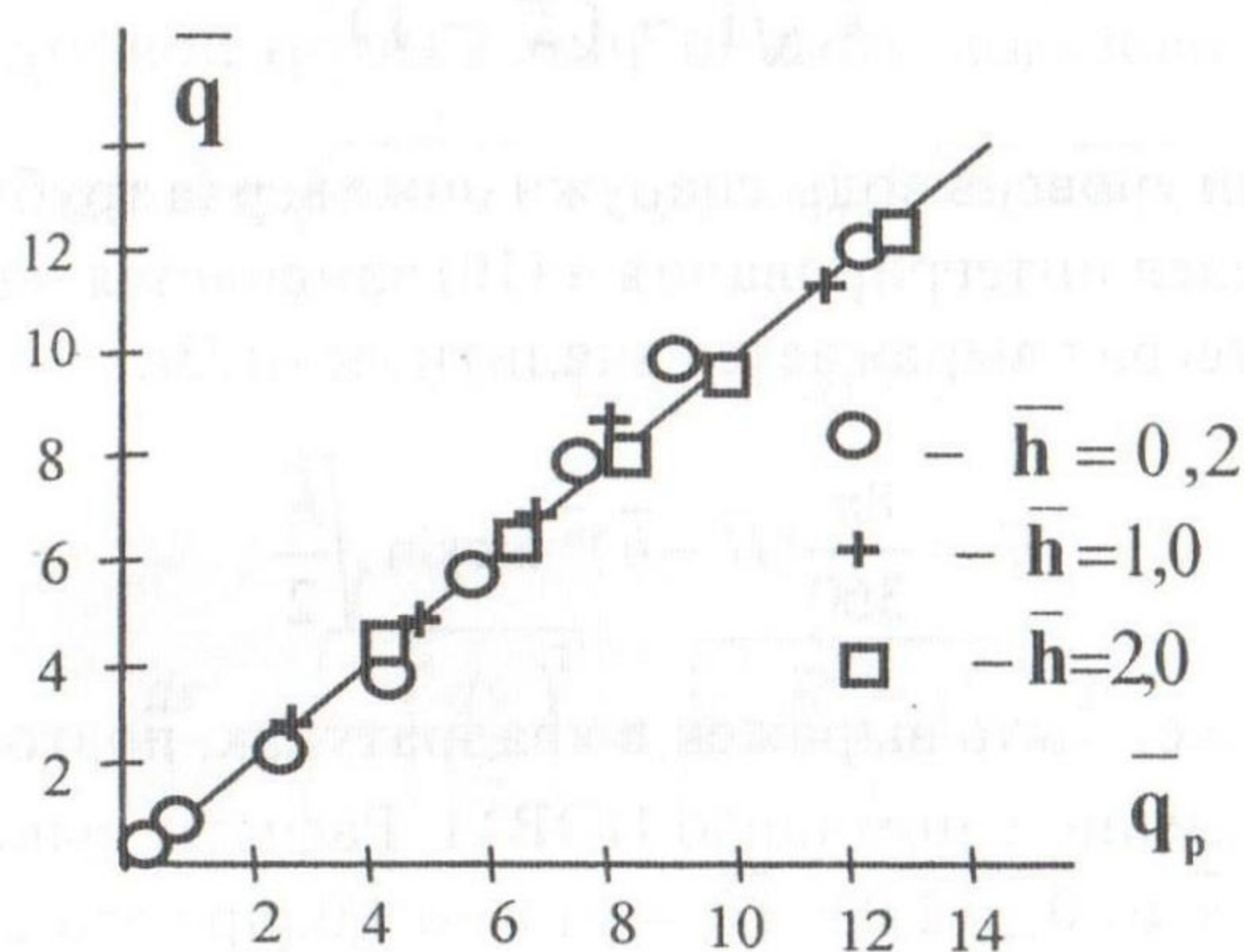


Рис.2. Степень соответствия уравнения (12<sup>1</sup>) результатам численного интегрирования уравнений (9)–(10)

Уравнение (12<sup>1</sup>) может быть использовано для расчета удельного притока через пористую трубу. Для этого достаточно знать заполнение трубы  $\bar{h}$  и уровень воды снаружи  $\bar{H}$ . Если же приток и заполнение трубы известны, то можно определить величину  $\bar{H}$ :

$$\bar{H} = \bar{h} + \left( \frac{\bar{q}}{2,87 + 1,74\bar{h}} \right)^{\frac{1}{1,03 - 0,212\bar{h}}} \quad (15)$$

Итак, полученное уравнение позволяет определить приток к пористой трубе в зависимости от глубины потока в ней.

Выводы:

1. Исследованы закономерности притока жидкости к пористой трубе.

2. На основании зависимости потерь напора от скорости фильтрации в пористых перегородках было получено уравнение притока воды к пористой трубе.

3. Задачей дальнейших исследований является изучение вопросов движения жидкости в пористой трубе и получение математических зависимостей, позволяющих установить связь притока с глубиной потока внутри трубы, а также экспериментальная проверка полученных зависимостей.

#### *Литература*

1. Реброва В.В. Исследование пористого полимербетонного дренажа скорых водоочистных фильтров: Дисс. ... канд. техн. наук. — М.: ВОДГЕО, 1979. — 127 с.
2. Грабовский П.А., Прогульный В.И. Отвод промывной воды из фильтров через пористую стенку // Изв. вузов. Строительство и архитектура. — 1987. — №4. — С. 101–104.
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. — М.: Физматгиз, 1959. — 608 с.