

Грабовский П.А., Прогульный В.И., Антонюк Н.Р.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

### ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ПОРИСТОГО ПОЛИМЕРБЕТОННОГО ДРЕНАЖА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЭВМ

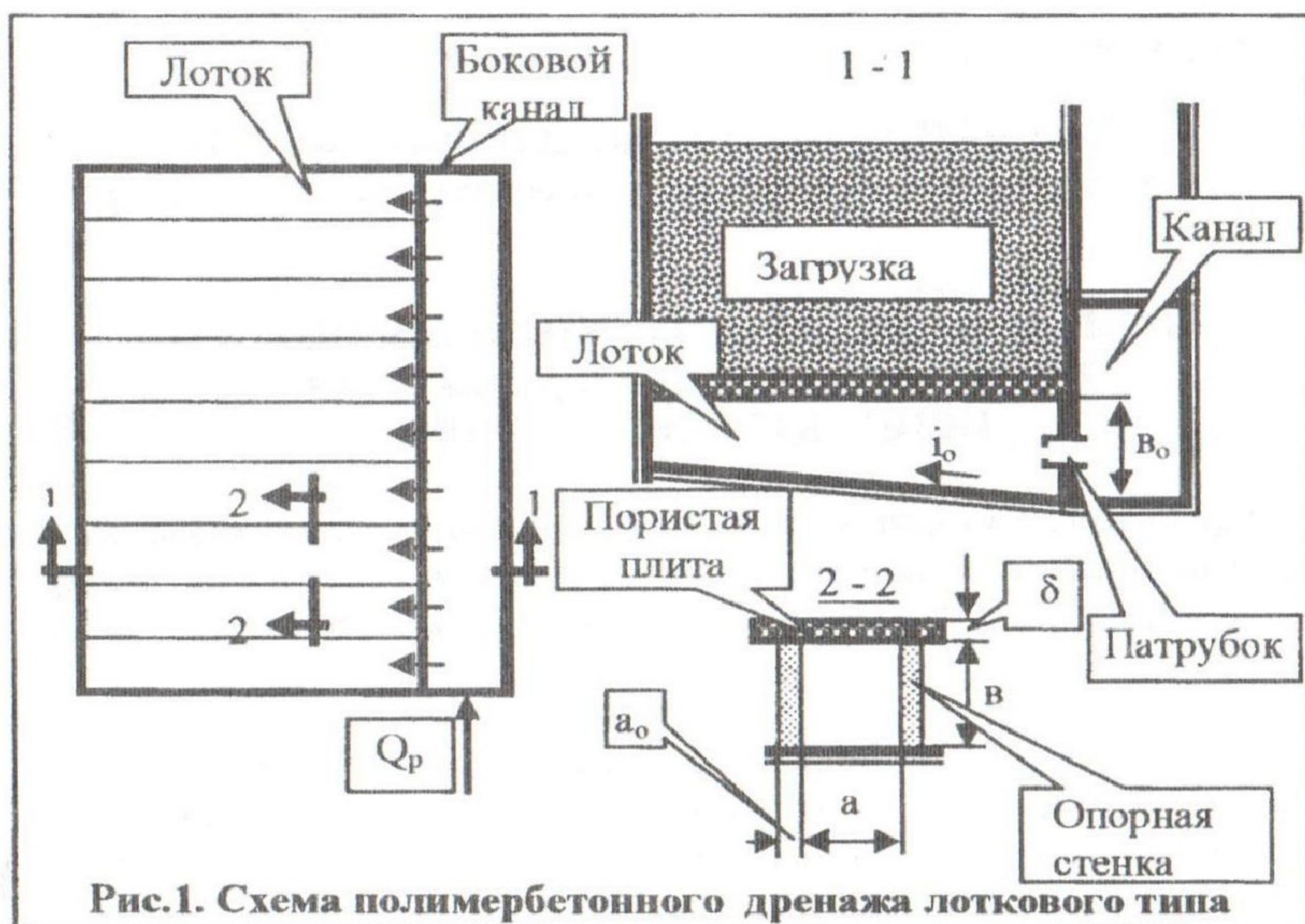
**Разработана методика поиска оптимальных параметров конструкции дренажей водоочистных фильтров, сочетающая численное моделирование работы дренажа и планирование экспериментов.**

Дренажно-распределительные системы являются одним из наиболее ответственных элементов конструкции скорых водоочистных фильтров. Их роль – равномерный сбор фильтрата и распределение промывной воды по площади. Важнейшее из многочисленных требований к дренажам – обеспечение заданного поля скоростей промывной воды, что оценивается величиной неравномерности –

$$\beta = \frac{V_{\min}}{V_{\text{cp}}},$$

где  $V_{\min}$  и  $V_{\text{cp}}$  – минимальное и среднее значение интенсивностей промывки. При слишком большой неравномерности фильтрующая загрузка в зоне не будет взвешиваться, если  $V_{\min} < V_{\text{кр}}$  ( $V_{\text{кр}}$  – критическая интенсивность, при которой начинается расширение загрузки при промывке). Это приведет к образованию застойных (непромываемых) зон в фильтре и к выходу его из строя. Но даже при  $V_{\min} > V_{\text{кр}}$  и слишком большой неравномерности будет происходить перерасход промывной воды, поскольку оператор прекращает промывку, когда вода в слое над загрузкой осветлится, а это позже всего происходит в зонах пониженной интенсивности.

В настоящей работе рассмотрен пористый полимербетонный дренаж, который, как показано в [1], удовлетворяет большинству предъявляемых требований [2] при наилучших экономических показателях. Схема наиболее распространенного лоткового дренажа приведена на рис. 1.



**Рис.1. Схема полимербетонного дренажа лоткового типа**

Дренаж состоит из опорных стенок, образующих лотки, перекрываемые пористыми плитами. На входе в лотки имеются патрубки с диафрагмами, сопротивление которых обеспечивают необходимый расход в начале каждого лотка. Дно лотка может иметь уклон по ходу потока промывной воды.

Возможны следующие способы снижения неравномерности промывки:

1. Увеличение высоты лотка – при этом скорость в начале лотка снижается, и поле давлений становится более «плоским». Однако при этом потребуется больший объем бетона на устройство опорных стенок, а высота загрузки может в некоторых случаях уменьшиться.

2. Устройство наклонного дна лотка – при этом, как показали численные исследования, выполненные на математической модели,  $\beta \rightarrow 1,0$ . Здесь также увеличится объем бетона.

3. Увеличение потерь напора в патрубках. При этом в соответствии с принципом «большого сопротивления» [3] неравномерность снижается. Однако в этом случае увеличиваются затраты электроэнергии на подачу промывной воды.

4. Одной из существенных причин, увеличивающих неравномерность промывки, является неравномерность сопротивлений элементов дренажа – плит и патрубков [4]. Уменьшить эту неравномерность можно, улучшив качество изготовления, что, естественно, по-

высит их стоимость. В настоящей работе этот способ не рассматривается из-за отсутствия данных о зависимости качества дренажных элементов от их стоимости.

Известные методы расчета полимербетонного дренажа [5] базируются на использовании упрощенных аналитических зависимостей, полученных в предположении непрерывности раздачи воды, как в лотке, так и канале, а также пренебрежении потерями напора на трение по длине потоков. Разработанный пошагово-итерационный метод расчета систем распределения и сбора воды позволяет не использовать описанные упрощения. Кроме того, учитываются не только эксплуатационные затраты, но и капиталовложения.

Задача проектирования полимербетонного дренажа – оптимизационная задача, функцией цели в которой являются удельные приведенные затраты-

$$\Pi = EK + \text{Э}, \quad (1)$$

где  $\Pi$  – приведенные затраты, грн/м<sup>2</sup> в год;  $E$  – коэффициент эффективности капиталовложений, принимаемый равным 0,15;  $K$  – стоимость капиталовложений, грн/м<sup>2</sup>;  $\text{Э}$  – эксплуатационные расходы, грн/м<sup>2</sup> в год (для удобства все затраты даны на 1 м<sup>2</sup> площади фильтра).

Стоимость капиталовложений  $K$  определяется стоимостью бетона для устройства опорных стенок лотков и создания наклонного дна в лотке. Эксплуатационные расходы должны учитывать стоимость забора и сброса воды в источник, реагентов (грн/м<sup>3</sup>), цену электроэнергии, (грн/кВт-ч), амортизационные отчисления на стоимость бетона и монтажных работ.

Для определения эксплуатационных расходов необходимо в первую очередь определить дополнительный объем промывной воды, связанный с неравномерностью промывки. Время вытеснения загрязнений из надзагрузочного слоя воды высотой  $H_{нз}$  в зонах минимальной и средней интенсивности промывки составит соответственно

$$t_{min} = H_{нз} / V_{min} \text{ и } t_{cp} = H_{нз} / V_{cp}$$

Дополнительное время промывки -  $\Delta t = H_{нз} \left( \frac{1}{V_{min}} - \frac{1}{V_{cp}} \right)$ , а добавочный удельный объем промывной воды за одну промывку (м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>) –

$$\Delta W = H_{нз} \left( \frac{1}{\beta} - 1 \right). \quad (2)$$

Анализ показал, что приведенные затраты зависят от большого числа факторов, но лишь три из них проектировщик может варьировать (высоту лотка -  $v_0$ , его уклон -  $i_0$  и потерю напора в патрубках на

входе в лоток –  $h$ ), т.е.

$$P = P(v_0, i_0, h). \quad (3)$$

Таким образом, задача выбора конструкции дренажа формулируется так: найти минимум функции цели ( $P$ ) при ряде ограничений типа равенств и неравенств. Так, высота лотка должна быть такой, чтобы можно было разместить патрубок на входе промывной воды, уклон дна лотка должен быть не более, чем  $v_0/L$  ( $L$  – длина лотка). Установлено, что зависимость (3) нелинейная, что связано, в первую очередь, с нелинейностью влияния варьируемых параметров на неравномерность промывки.

Полученная ранее математическая модель работы дренажа и численная методика его расчета позволяют производить расчет приведенных затрат, однако отыскание оптимальных конструктивных параметров – задача очень трудоемкая из-за огромного количества возможных вариантов. Поэтому была предпринята попытка поиска оптимальных решений, используя математический аппарат планирования экспериментов. При этом под «экспериментом» понимался результат численного расчета.

Для оптимизации был использован нелинейный план  $B_3$  (15-ти точечный 3-х факторный план), реализованный с помощью программы «СОМРЕХ», разработанной на кафедре ПАТСМ/6/. Все факторы варьировались на трех уровнях: -1, 0, +1. Первоначальная регрессионная модель имела вид-

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3, \quad (4)$$

где  $X_1$  – высота лотка, варьируемая в пределах  $35 \pm 5$  см;  $X_2$  – уклон дна лотка ( $0,025 \pm 0,025$ );  $X_3$  – потеря напора в патрубке ( $200 \pm 100$  см).

Исходные данные (не варьируемые параметры) взяты из типовых проектов станций очистки воды серии 901-3, производительностью 5, 8, 12, 20, 32, 50, 100 и 200 тыс. м<sup>3</sup> в сутки. Для всех расчетов была принята среднезернистая загрузка из кварцевого песка высотой 1,5 м при интенсивности промывки 15 л/с·м<sup>2</sup>, число промывок в год – 365. Стоимостные показатели (электроэнергия, реагенты и т.п.) взяты по данным Одесского Водоканала.

Основные результаты расчетов даны в таблице.

№№	Кэф- фици- енты	Q, тыс. м <sup>3</sup> /сут					
		5...8	12...20	32	50	100	200
1	b <sub>0</sub>	11,21	10,630	11,21	10,999	11,15	11,26
2	b <sub>1</sub>	0,917	0,969	0,917	0,958	0,957	0,961
3	b <sub>2</sub>	0,421	0,273	0,440	0,442	0,433	0,426
4	b <sub>3</sub>	0,093	0,064	-0,034	0,007	-0,027	-0,050
5	b <sub>11</sub>	0,009	0,009	0,013	0,013	0,013	0,004
6	b <sub>22</sub>	-0,011	-0,006	-0,039	-0,037	-0,034	-0,060
7	b <sub>33</sub>	-0,011	-0,006	0,041	0,006	0,026	0,040
8	b <sub>12</sub>	0,040	0,004	0,094	0,090	0,086	0,112
9	b <sub>13</sub>	0,000	-0,001	0,001	-0,003	-0,001	0,000
10	b <sub>23</sub>	0,000	-0,001	-0,004	-0,003	-0,004	-0,003
Опти- мальные значения факторов	X <sub>1</sub>	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	X <sub>2</sub>	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	X <sub>3</sub>	-1	-1	0,42	-1	0,52	0,637
П, грн/м <sup>2</sup>		9,81	9,32	9,90	9,66	9,80	9,91

Серой заливкой отмечены коэффициенты, которые из-за незначимости были отброшены.

Как видно из полученных данных, минимальные значения приведенных затрат для первых двух факторов достигаются при наименьших значениях X<sub>1</sub> и X<sub>2</sub> (высоты лотка и уклона его дна). Оптимальные потери напора в патрубке (X<sub>3</sub>) для станций производительностью

5, 8, 12, 20 и 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут – 100 см, а для других производительностей – 242-264 см. При этом зависимость  $P(X_3)$  очень пологая. Как показал анализ, при изменении исходных значений стоимостных показателей (электроэнергии, бетона и т.п.) оптимальные значения факторов меняются и вполне возможны варианты, при которых  $i_0 > 0$ .

Таким образом, разработанная методика, сочетающая численное моделирование работы дренажа и планирование экспериментов, позволяет производить поиск оптимальных параметров конструкции.

1. Грабовський П.О., Ларкіна Г.М., Карпов І.П., Прогульний В.Й. Порівняльний аналіз дренажів водоочисних фільтрів// Ринок інсталяційний, №11, 2000, с. 28-29.

2. Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастальский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. – М.: Высш. шк., 1984-368 с.

3. Турчинович В.Т. Улучшение качества воды. М.: Стройиздат, 1940- 348с.

4. Грабовский П.А. Неравномерность сопротивлений в дренажно-распределительных системах. //Сб. «Гидравлика и гидротехника», вып.45, изд. Техника, К., 1987, с.69-73.

5. Грабовский П.А. Оптимальное проектирование безгравийных дренажей скорых фильтров.// Химия и технология воды, т.9, №1, 1987, с.61-64.

6. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. – К.: Вища школа.- 1989.- 328с.