

УДК 628.113 (075.8)

Ю.И. ВДОВИН

доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения
Тольяттинский государственный университет

Д.А. СТРЕЛКОВ

соискатель кафедры водоснабжения и водоотведения, главный инженер ООО НПФ «ЭКОС»
Самарский государственный архитектурно-строительный университет

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ В КРУПНОПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ КОНСТРУКЦИЙ ВОДОЗАБОРНО-ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

*PECULIARITIES OF MODELLING THE FILTRATION IN COARSE-PORED MATERIALS OF STRUCTURES OF WATER
INTAKE-TREATMENT PLANTS*

Рассматриваются научно-инженерные аспекты моделирования фильтрации в крупнопористых материалах конструкций водозаборно-очистных сооружений. Сформулированы основные вопросы моделирования фильтрации для решения задач совершенствования технологий изъятия воды из источников и конструкций водозаборно-очистных сооружений. Рассмотрены критерии моделирования процессов фильтрации и промывки фильтров водоприемников.

Ключевые слова: моделирование, фильтрация, крупнопористые материалы, водозаборно-очистные сооружения, критерии моделирования, водоприемники, промывка фильтров.

Задачи совершенствования технологий изъятия воды из источников и конструкций водозаборно-очистных сооружений диктуют следующий основной алгоритм моделирования фильтрации в их фильтрующих элементах:

- установить особенности фильтрации воды в различных по крупности материалах, толщине их слоя, функциональных задач фильтрующих материалов (защита от шугольда, крупного сора, водорослей, предочистка воды, обеспечение заданной степени очистки воды и др.) и возможности использования известных зависимостей фильтрации воды в пористых средах применительно к задачам водоприема и водоочистки при наличии явлений длительных переохлаждений и фазовых изменений состояния воды [1, 2];

- исследования нужно проводить на достаточно крупных моделях, обеспечивающих автомодельность и полное подобие работы фильтров водозаборов и водозаборно-очистных сооружений в лабораториях и в природе [3, 4];

- на моделях должны воспроизводиться наиболее реальные схемы фильтрации в филь-

Scientific and engineering aspects of modelling the filtration in coarse-pored materials of water intake-treatment plants' structures are considered. There have been formulated basic matters for modelling the filtration for solving the problems of improving the technology of water withdrawal from water sources and the construction of water intake-treatment plants. Criteria of modelling filtration processes and washing water inlet's filters are observed.

Key words: modelling, filtration, coarse-pored materials, water intake-treatment plants, criteria of modelling, water inlets, filters' washing.

трующих элементах водозаборов с грубой предочисткой и водозаборно-очистных сооружений, работающих в режиме инфильтрационно-фильтрующих устройств, являющихся типовыми для относительно схожих гидролого-мерзлотных условий;

- в опытах должны соблюдаться требования безотрывного обтекания конструкций водоприемников водным потоком и минимизироваться изменения сложившегося гидрологического и мерзлотно-термического режима источников при водоотборе;

- применяющиеся в лабораториях имитаторы сора, шуголедовых образований, наносов и другие должны обладать сходными свойствами с натуральными их аналогами;

- в проводимых опытах необходимо создавать фактические структурные особенности отбираемых и промывных потоков в фильтрах. Внешнее взаимодействие водоприемников с источником можно достаточно полно и точно моделировать по Фрудру.

Процессы, характеризующие фильтрующий водопр прием и работу водозаборно-очистных сооружений, моделировать сложно и с позиций технологической промывки как неподвижных слоев фильтров, так и при их взвешивании. Так, фильтрующий водопр прием при промывке фильтров точно по Фруду моделировать нельзя. При этом определяющей является не сила тяжести

$$F = \rho g l^3, \quad (1)$$

а сила выпора

$$R = \rho g \Omega h_\phi J, \quad (2)$$

где Ω – площадь фильтра; h_ϕ – его толщина; R – сила выпора.

Из зависимости $v_\phi = K_\phi J^{\frac{1}{m}}$ определяется

$$J = \left(\frac{v_\phi}{K_\phi} \right)^m, \text{ и критерий подобия Ньютона}$$

в общем случае запишется так:

$$K_{N1} = \frac{F_\phi}{\rho v^2 h_\phi^2} = idem, \quad (3)$$

где F_ϕ – сила, определяющая моделируемое явление, т.е. в нашем случае это сила выпора.

Если основной является сила тяжести, то критерий Ньютона принимает вид, обратный критерию Фруда:

$$K_{F1} = \frac{\rho g h_\phi^3}{\rho v^2 h_\phi^3} = \frac{g h_\phi}{v^2} = idem. \quad (4)$$

Подставив в формулу (3) значение определяющей силы из уравнения (2), получим известный критерий подобия Эйлера:

$$K_{Э1} = \frac{\rho g h_\phi^3 J}{\rho v^2 h_\phi^3} = \frac{g h_\phi}{v^2} \left(\frac{K}{v} \right)^m = idem. \quad (5)$$

Правило пересчета при моделировании по Фруду на натуру получится от деления соответствующих частей выражений (4) и (5), дающих инварианту моделирования:

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_v^2} = 1. \quad (6)$$

Однако из уравнения (5) видно, что моделировать работу фильтра по Фруду нельзя. Для равенства параметров K_ϕ и m в натуре и на модели необходимо последнюю воспроизводить практически

в масштабе природы. Крупность фильтра, значения K_ϕ и определяемые ими величины J и m для модели и природы должны быть одинаковыми. Перепишем выражение (5) в виде

$$K_{F1} = \frac{g h_\phi J}{v^2} = \frac{g z}{v^2} = idem, \quad (7)$$

где $z = h_\phi J = \Delta P = P_{\text{под филт.}} - P_{\text{над филт.}}$

Зависимость (7) оказывается известным критерием Эйлера. Выражая его инвариантой моделирования, получим:

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_v^2} = 1, \text{ т.е. } \alpha_v = \sqrt{\alpha_z} = \sqrt{\alpha_i}, \quad (8)$$

иными словами, чтобы получить для обратной промывки фильтра условия, удовлетворяющие критерию (5), нужно принять крупность фильтра и скорость фильтрации одинаковыми для природы и модели, т.е. необходимо выполнение условия $J_m = J_n$. Тогда, вписываясь во Фрудовы модели водопр приемников, можно принять по Фруду лишь толщину фильтра, что делает абсурдной саму идею моделирования фильтров из крупнозернистых материалов.

В связи с этим в лабораториях нужно исследовать взаимодействие моделей водопр приемников с водоисточниками, изучать линии токов, режимы движения засорений воды в фильтрах, выяснять гидравлическую структуру водопр приема фильтрующими элементами и внешнюю картину промыва неподвижных фильтров разными способами при различных гидрологических условиях, в частности, скоростей течений v_a . Действительную картину засоряемости фильтров водопр приемников, промывку их при забивке засорениями и шугой, динамику отбора засоренной и зашугованной воды достоверно можно установить лишь в условиях природных водоемов. Требования к моделированию фильтрующих водопр приемников авторами выполнялись на экспериментальных установках в лабораториях, на специально создаваемых природных полигонах, на полупроизводственных и природных производственных сооружениях¹.

¹ Образовский А.С., Ереснов Н.В., Казанский Е.А., Бреснов В.Н. и др. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников М.: Стройиздат, 1976. 368 с.

Внешние воздействия потоков на водоприемники можно изучать на моделях, тогда градиенты в фильтрах при заданных J и d могут вычисляться по известным эмпирическим формулам. При этом возникают затруднения: исследования забивки шугой и кольматация фильтров, а также их промывка количественно достоверно выполнимы лишь в натуре. В этом – важная особенность фильтрации в фильтрующих водоприемниках и их гидравлических исследований по сравнению с обычными, где отбор воды и промывка фильтров моделируются по Фруду. В этом заключается особая необходимость исследований фильтрующих водоприемников в натуре².

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Журба, М.Г. Водозаборно-очистные сооружения и устройства [Текст] / М.Г. Журба, Ю.И. Вдовин и др. - М.: Изд-во «Астрель», 2003. – 572 с.
2. Вдовин, Ю.И. Теория и практика фильтрующего водоприема в системах водоснабжения [Текст] / Ю.И. Вдовин. – М.: ВИНТИ, 1996. – 200 с.
3. Леви, И.И. Моделирование гидравлических явлений [Текст] / И.И. Леви. – М.: ГЭИ, 1968. – 128 с.
4. Лушкин, И.А. Исследования фильтрующего водоприема из источников с обильной водной растительностью [Текст]: дис. ... канд.техн.наук / И.А. Лушкин. – Пенза, 1999. – 201с.

© Вдовин Ю.И., Стрелков Д.А., 2011

² Кузовлев Г.М. Специальные гидротехнические сооружения для атомной промышленности М.-Л.: ГЭИ, 1973. 400 с.