

УДК 628.067

*А. И. Горобченко*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ**

Дано описание алгоритма управления работой скорого фильтра, основанного на использовании оперативной информации и прогнозировании на основе математической модели. Показана возможность использования таких моделей и для других фильтровальных сооружений.

подавляющее большинство водопроводных очистных станций и промышленных комплексов обработки и доочистки воды содержат в своем составе фильтровальные сооружения. Среди наиболее распро-

страненных и широко используемых сооружений можно выделить следующие: открытые скорые фильтры, напорные фильтры, контактные осветлители.

Основной вопрос, с которым приходится сталкиваться при эксплуатации фильтровальных сооружений — выбор оптимального режима работы, который позволил бы обеспечить потребителя водой требуемого качества и свести к минимуму эксплуатационные затраты. Способом решения выше изложенной задачи является внедрение автоматизированных систем управления (АСУ), которые позволяют оперативно и эффективно управлять системами водоснабжения. Как показала практика [1,2,3], применение АСУ и передовых методов управления позволяет снизить расход воды на собственные нужды на 10 — 15%, добиться экономии электроэнергии 7–9%.

Подобные схемы уже внедрены и используются рядом предприятий: Харьковским водопроводом, Симферопольским производственным предприятием водопроводно-канализационного хозяйства, Мосводоканалом и др. [1,2,3,4]. Однако для эффективного применения АСУ и решения проблем, связанных с оптимизацией работы фильтровальных сооружений, необходимы эффективные алгоритмы управления работой этих сооружений, а также создание математических моделей, которые позволяют отрабатывать эти алгоритмы.

Работу любого фильтровального сооружения можно представить в виде двух взаимосвязанных циклов: непосредственно фильтрования и процесса регенерации (промывки) загрузки. Следовательно, основная задача эксплуатации — это выбор продолжительности фильтроцикла, при которой в полной мере будет использоваться потенциал загрузки с учетом обеспечения необходимого качества фильтрата, а также выбор продолжительности промывки с учетом минимизации эксплуатационных затрат.

Итак, функция цели при выборе оптимальных режимов работы скорых фильтров — эксплуатационные затраты. Как показано в [5], для данной задачи эти затраты эквивалентны относительному расходу промывной воды:

$$\Phi = \Sigma W_{np} / Q_o,$$

где  $\Sigma W_{np}$  — суммарный суточный объем промывной воды;  $Q_o$  — заданная полезная производительность станции.

Таким образом, задача оптимизации формулируется так: найти управляющие параметры — продолжительность фильтроцикла  $T$  и

промывки  $t$ , обеспечивающие минимум функции цели  $\Phi = \Phi(T, t)$ . Эта задача должна решаться с учетом ряда ограничений:

1. Мутность фильтрата не должна быть больше допустимой

$$M_{\phi} \leq M_{\text{дон}}. \quad (1)$$

2. Производительность фильтра равна заданной

$$Q = Q_{\text{оф}}. \quad (2)$$

3. Продолжительность фильтроцикла не должна быть больше допустимой, диктуемой правилами эксплуатации фильтровальных сооружений [6]

$$T \leq T_{\text{дон}}. \quad (3)$$

4. К началу промывки объем воды в резервуаре или в водонапорной башне ( $W_p$ ) должен быть достаточным для промывки фильтра, а также необходима свободная емкость для приема промывочной воды ( $W_{\text{об}}$ ), т.е.

$$W \leq W_p \text{ и } W \leq W_{\text{об}}. \quad (4)$$

Таким образом, рассматриваемая задача относится к категории задач нелинейного программирования с ограничениями типа равенств и неравенств [7].

Принципиально возможны два подхода к задаче оптимизации работы фильтров: метод “черного ящика” и математическое моделирование. Подходы с применением этих методов к решению поставленной задачи приводятся в статьях [8,9].

Трудности, связанные с применением метода “черного ящика”, заключаются в относительно большой продолжительности фильтроциклов, что приводит к слишком медленной реакции объекта управления (5–6 циклов [9]) на вносимые регулировочные воздействия, в сравнении с возможными внешними возмущениями (изменение качества воды, производительности и т.д.).

Метод “черного ящика” вполне применим для сооружений, работающих в установившемся режиме (постоянное качество исходной воды, постоянная производительность). Кроме того, можно применить подход, заключающийся в использовании оперативной информации, поступающей от приборов, установленных на исследуемом объекте.

Для нахождения необходимой продолжительности фильтрования получают несколько точек графика динамики скорости фильтрования ( $V$ ):

$$V = V_0 - at, \quad (5)$$

где  $V_0$  — начальная скорость фильтрования;  $t$  — время от начала цикла;  $a$  — коэффициент модели.

Затем, используя возможности надстроек Excel, экстраполируют кривую во времени. Получив динамику падения скорости фильтрования, находят полезную производительность фильтра:

$$Q_{II}(t) = (F \sum_0^t V \Delta t - W) / (t + t_{np}), \quad (6)$$

где  $F$  — площадь фильтра;  $t_{np}$  — продолжительность простоя фильтра в связи с промывкой;  $W$  — расход промывной воды, м<sup>3</sup>.

Необходимую продолжительность фильтроцикла находят, используя ограничения (1)–(4) и условие обеспечения заданной величины полезной производительности (QПЗ). Для каждого момента времени определяют и расход воды на собственные нужды. Диспетчеру выдаются рекомендации об ожидаемом моменте времени, когда фильтр необходимо промывать. Естественно, в процессе работы эти рекомендации будут меняться из-за колебаний коэффициента  $a$ . Однако, чем продолжительнее фильтроцикл, тем меньшими будут эти колебания.

Как показал анализ, проведенный при помощи математической модели [8,9], методы поиска оптимальных режимов работы скорого фильтра вполне могут быть распространены на контактные осветлители и напорные фильтры. Это ясно из рис.1 и 2. Более того, если в скорых фильтрах уровень воды над загрузкой колеблется (например, из-за влияния соседних по блоку фильтров), то в контактных осветлителях этот уровень постоянен, что упрощает реализацию математической модели. В скорых фильтрах необходимо вычислять для каждого момента времени отметки  $Z_0, Z_1, Z_2$ , а в контактном осветлителе можно ограничиться фиксированным значением располагаемого напора  $H$ . Аналогичная ситуация будет и при моделировании напорного фильтра.

Целями дальнейших исследований является разработка математических моделей работы контактных осветлителей и напорных фильтров, алгоритмов для управления этими сооружениями, а также апробация в производственных условиях.

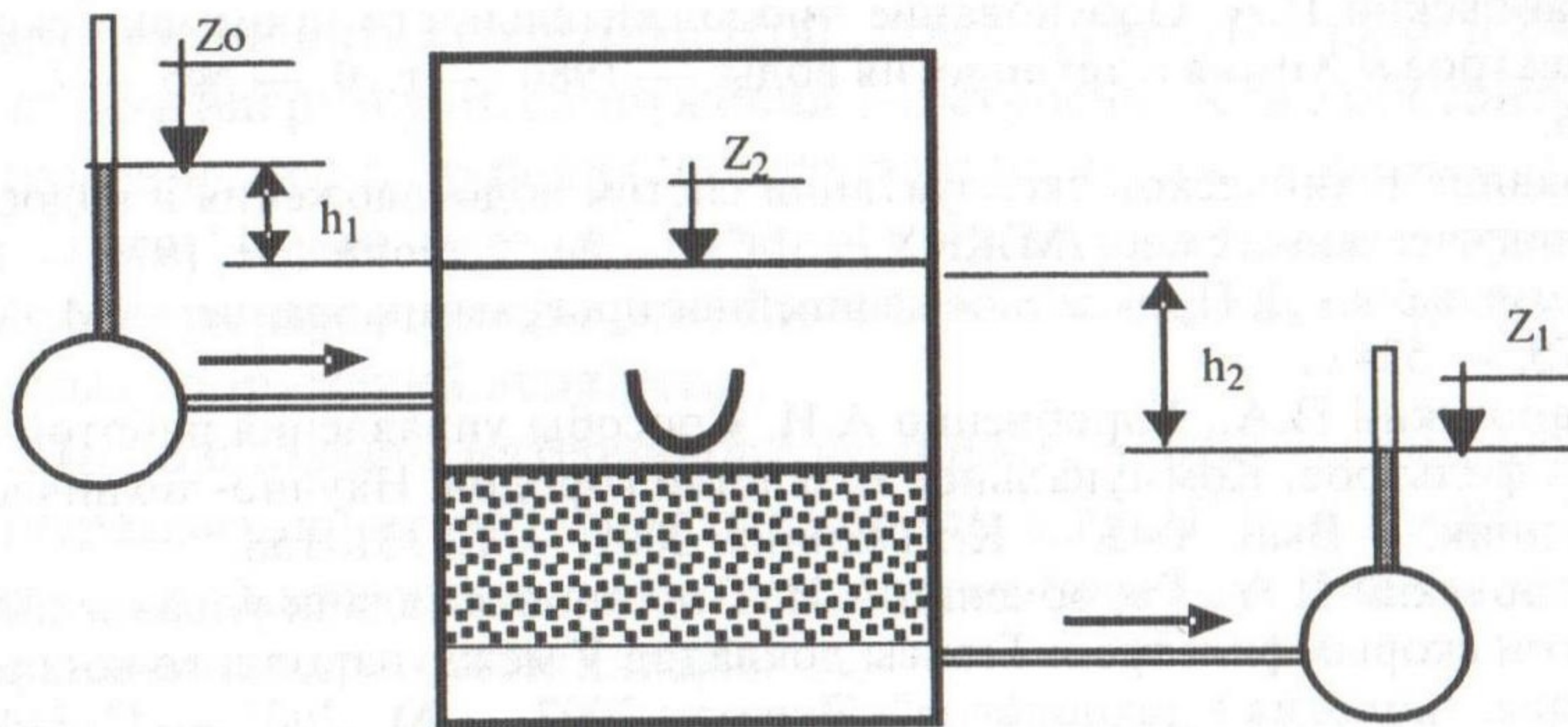


Рис.1. Схема скорого фильтра

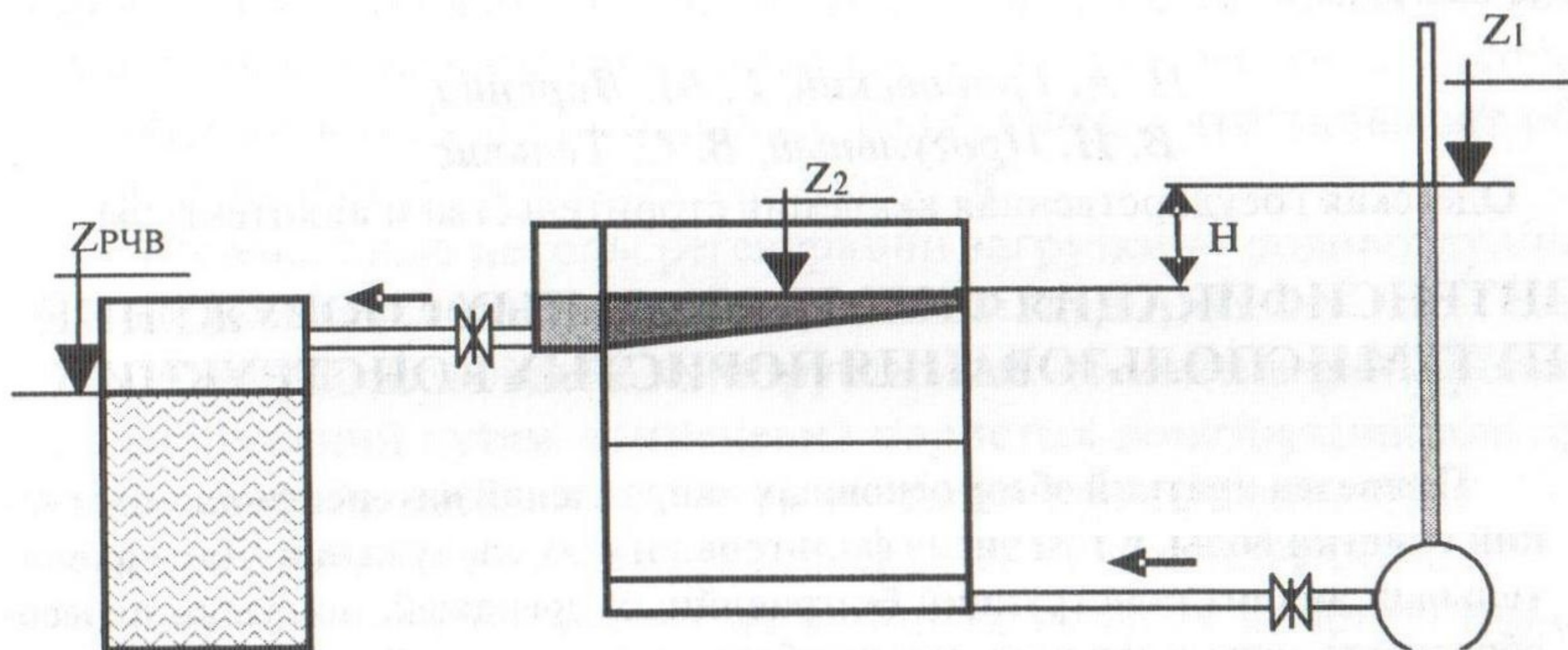


Рис.2. Схема контактного осветлителя

### Литература

1. Агаджанов Г.К., Стулов В.В. АСУ как путь повышения качества услуг водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. — 2000. — №8. — С.10.
2. Храменков С.В., Коверга А.В., Столярова Е.А., Рыбинскова Г.А. Автоматизированная информационная система качества воды // Водоснабжение и санитарная техника. — 2002. — №10. — С.6.
3. Проспекты Симферопольского производственного предприятия водопроводно-канализационного хозяйства.
4. Подковыров В.П., Храменков С.В. Геоинформационная система управления водопроводной сетью // Новые технологии и оборудование в водоснабжении и водоотведении" Сборник материалов. — Вып. 2. — М.: Госстрой России НИИ Коммунального водоснабжения и очистки воды Водкоммунтех ГУП "ВИМИ", 2000. — 304 с.

5. Грабовский П.А. Обоснование продолжительности промывки скорых фильтров // Химия и технология воды. — 1986. — т.10. — №5. — С. 423–426.
6. Правила технической эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения населенных мест /МЖКХ РСФСР. — М.: Стройиздат, 1979. — 192с.
7. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. — М.: Мир, 1975. — 534 с.
8. Грабовский П.А., Горобченко А.И. Способы управления работой скорых фильтров. Коммунальное хозяйство городов: Научно-технический сборник. — Вып. №45. — К.: Техника, 2002. — С. 151–158.
9. Грабовский П.А., Горобченко А.И. Постановка задачи управления работой скорых фильтров: Тезисы докладов V международного конгресса “Вода: экология и технология” - Экватэк-2002. — М., 2002. — С. 344.