

Каландарбеков Имомёрбек - доктори илмҳои техникӣ, профессор, аъзои корп. Академияи Байналмилалии Муҳандисӣ. E-mail: kalandarbekov-55@mail.ru; тел.: +992 93 500 63 43

Сведения об авторах:

Амирзода Ориф Хамид – д.т.н., доцент, директор Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана (НАНТ). E-mail: orif2000@mail.ru тел.: +992 93 728 72 72

Бадавлатова Бунафша Худоёровна - выпускница (2009г.) ТТУ, соискатель кафедры “Системы водоснабжение, теплогазоснабжение и вентиляция” ТТУ имени академика М.С.Осими, круг научной деятельности – «Совершенствование процесса предварительного осветления поверхностных вод (на примере очистной станции самотечного водопровода города Душанбе)». E-mail: bbadavlatova@mail.ru, тел.: +992 88 440 80 02

Каландарбеков Имомёрбек - доктор технических наук, профессор, член корп. Международной Инженерной академии. E-mail: kalandarbekov-55@mail.ru; тел.: +992 93 500 63 43

Information about authors:

Amirzoda Orif Khamid – Doctor of Technical Sciences, docent, Director Institute of the water problems, hydro-power and ecology of the NAST. E-mail: orif2000@mail.ru tel.: +992 93 728 72 72

Badavlatova Bunafsha Khudoyorovna - graduate (2009y.) TTU, Competitor of the Department “Water supply systems, heat and gas supply and ventilation” TTU named after Academician M.S. Osimi, circle of scientific activity – «Improvement of the process of preliminary clarification of surface water (using the example of the Gravity Water Treatment Station of the city of Dushanbe)». E-mail: bbadavlatova@mail.ru, tel: +992 88 440 80 02

Kalandarbekov Imomyorbek - Doctor of Technical Sciences, professor, corr. member of International Academy of Engineering. E-mail: kalandarbekov-55@mail.ru; tel.: +992 93 500 63 43

УДК 532.572

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩА

Саттаров С.А.

Джизакский политехнический институт, Узбекистан

Аннотация: в статье рассмотрены вопросы истечения жидкости из резервуаров с постоянной и переменной функцией сечений объема. Приведены формулы расчета времени истечения при переменном напоре. Предложена и испытана схема расчета времени с учетом трехмерной модели резервуаров. Приведены рекомендации по использованию на практике.

Ключевые слова: резервуар, движение жидкости, истечение жидкости при переменном напоре, скорость и давление потока жидкости.

Введение. Резервуары являются наиболее распространенными хранилищами различных жидкостей. К наиболее существенным технологическим операциям с резервуарами

относится операция опорожнения резервуаров, в частности водохранилищ. Истечение жидкости из водохранилищ является примером неустановившегося движения при

переменном напоре, т.е. когда уровни в них повышаются или понижаются, при этом гидравлические параметры потока, его скорость и давление непрерывно изменяются по времени. В случае неустановившегося движения жидкости при расчетах нельзя использовать обычное уравнение Бернулли. Операция опорожнения рассматривается как самостоятельная гидравлическая задача [1–3]. Обычно в таких задачах требуется определить время опорожнения объема. От формы резервуара зависит сложность расчета. Так определение времени опорожнения призматического резервуара, имеющего неизменное поперечное сечение по высоте, представляет значительно более простую задачу, чем непризматического. Для определения времени полного опорожнения резервуара необходимо проинтегрировать это выражение от изменения высоты жидкости h . Для резервуара с переменной площадью

сечения это сделать трудно, необходимо использовать метод конечных разностей. В данной работе предложен расчет времени истечения жидкости с учетом рельефа береговой линии и трехмерной 3D модели дна водохранилища.

Расчет времени истечения при постоянной площади сечения. Рассмотрим резервуар произвольной формы (Рис. 1.) с площадью поперечного сечения, с отверстием площадью живого сечения w внизу, через которое вытекает жидкость. Сверху в резервуар поступает расход Q_0 . В зависимости и от отношения расходов Q и Q_0 резервуар может либо наполняться, либо опорожняться. Допустим, что $Q > Q_0$ и необходимо определить время понижения уровня в резервуаре от H_1 до H_2 . За время dt из резервуара вытечет объем жидкости:

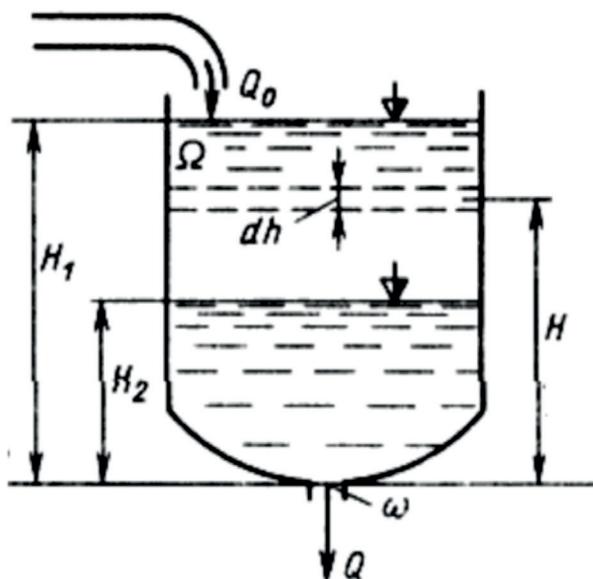


Рис. 1. Истечение жидкости из резервуара постоянного сечения

$$Q dt = \mu w \sqrt{2gH} dt. \quad (1)$$

Здесь μ - коэффициент расхода насадки, w - сечение отверстия. И за это же время поступит вода в объеме $Q_0 dt$. Разность объемов равна:

$$\mu w \sqrt{2gH} dt - Q_0 dt = \Omega dh,$$

Отсюда

$$t = \Omega dh / (\mu w \sqrt{2gH} - Q_0). \quad (2)$$

Чтобы найти время понижения уровня воды в резервуаре от H_1 до H_2 , надо просуммировать все элементарные отрезки времени dt , т.е. проинтегрировать выражение, при условии что нет притока - $Q_0 = 0$:

$$t = \int_{H_1}^{H_2} \frac{dh}{\mu w \sqrt{2gH}} \quad (3)$$

Следует отметить, что для точного нахождения интеграла, надо знать функциональную зависимость Ω от H ; (кроме того, необходимо иметь такую же зависимость и для Q_0 , если он переменен по времени). Обычно $\Omega = f(H)$ и $Q_0 = f(t)$ задаются в виде графиков [4]. В частном случае, вертикально расположенного цилиндрического резервуара время полного опорожнения резервуара в два раза больше времени истечения того же объема жидкости при постоянном напоре [5]:

$$t = \frac{2SH}{\mu \omega \sqrt{2gH}} \quad (4)$$

Расчет времени истечения при сложной зависимости сечения.

Для простых случаев, например профиля водохранилища в форме горизонтального цилиндра имеется аналитическое решение, так как в этом случае имеется явная зависимость $\Omega = f(h)$. Такие примеры полезны для общей оценки ситуации. Однако, в случае сложной зависимости парциальных объемов от высоты, ситуация усложняется.

Рассмотрим время опорожнения непризматического резервуара с $\Omega \neq \text{const}$ (большинство водохранилищ см. Рис. 2) от уровня H_1 до H_2 . Без притока верно уравнение (3).



Рис. 2. Примерный профиль большинства водохранилищ

Так как водохранилище имеет непризматическую форму (Рис. 2), то Ω нельзя выразить определенной функцией от h и точное интегрирование невозможно. Интегрирование заменяем численным суммированием по способу трапеций или применяем формулу Симпсона и способ Павловского [6]. Для аналитического вычисления кривой $\Omega = f(h)$ весь объем разбиваем на n частей с высотами ΔH . Рекомендуем принять ΔH 1/20 высоты плотины. Составляется 3D модель дна водохранилища и по мере возможности составляется функция береговой линии, на основе этих данных рассчитывается кривая $\Omega = f(h)$. Данный способ был применен для расчета времени истечения для Джизакского

водохранилища, вычисленные данные имеют 20% расхождение с реальным временем. В настоящее время полученные данные анализируются для более полного учета всех факторов.

Закключение. Таким образом, аналитический расчет функции на основе 3D модели дна и функции береговой линии позволяет рассчитывать время истечения жидкости из водохранилища как пример неустановившегося движения при переменном напоре. Однако, следует учитывать и другие факторы такие как коэффициент расхода, размеры отверстия влияющие на оценку времени порядка 15-20%.

Литература

1. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости / Пер. с англ. под ред. Г. Ю. Степанова. — М.: Мир, 1973. — 760 с.
2. Гольдштейн Р. В., Городцов В. А. Механика сплошных сред. Часть 1. — М.: Физматлит, 2000. — 256 с
3. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. — М.: Дрофа, 2003. — 842 с.
4. O. S. Limarchenko Dynamics of a reservoir containing a liquid with a free surface in the uniform outflow regime International Applied Mechanics volume 29, pages149–152 (1993)
5. L.A. Mihalchenko, S.S. Makarov Mathematical Modeling of Fluid Outflow from the Reservoir European Journal of Technology and Design Vol. 8, Is. 2, pp. 79-85, 2015
6. Jesse Y. Wang On the discretisation error of the weighted Simpson rule BIT Numerical Mathematics volume 16, pages205–214 (1976)

SIMULATION OF THE PROCESS OF LIQUID OUTFLOW FROM A RESERVOIR

Sattarov S.

Annotation. *The issues of liquid outflow from reservoirs with constant and variable functions of volume sections are considered. The formulas for calculating the outflow time at a variable pressure are given. A scheme for calculating the time is proposed and tested taking into account the three-dimensional model of the tanks. Recommendations for use in practice are given.*

Keywords: *reservoir, fluid movement, fluid outflow at variable pressure, fluid flow velocity and pressure.*

Сведения об авторе:

Саттаров Сергей Абудиевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Радиоэлектроника» Джизакского политехнического института, 130100, Узбекистан, г.Джизак, пр. И.Каримова,4, E-mail: jizpi_sattarov@list.ru, тел: (+998 91) 595 95 30.

Information about author:

Sattarov Sergey Abudievich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Radioelectronics, Jizzakh Polytechnic Institute, 130100, Uzbekistan, Jizzakh, I. Karimov Ave., 4, E-mail: jizpi_sattarov@list.ru, tel: (+998 91) 595 95 30.