

1. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М., 1985. – 134 с.

2. Рекомендации по совершенствованию проектирования, наладки и эксплуатации внутренних систем водоснабжения жилых и общественных зданий в городах и поселках УССР, направленные на сокращение потерь и нерационального использования питьевой воды / РД 204 УССР 158-84. – К., 1984. – 82с.

Отримано 19.01.2002

УДК 532.517.4

А.П.НЕТЮХАЙЛО, д-р техн. наук, О.Г.ИСАКИЕВА

Харьковский государственный технический университет
строительства и архитектуры

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ С ПРОИЗВОЛЬНОЙ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ

Рассматривается проблема пропускной способности открытых каналов с произвольной шероховатостью на основании анализа кинематической структуры турбулентного течения. С помощью теоретических исследований получена зависимость скорости потока от нескольких параметров турбулентного течения, которая практически соответствует результатам экспериментальных исследований кинематической структуры реки, которая заросла кустами.

Турбулентное течение в открытых каналах имеет сложную кинематическую структуру при обтекании неровностей и препятствий, сопротивление которых преодолевается турбулентным потоком (рис.1). Как видно из рисунка, отмечается существенная неоднородность потока как в поперечном, так и в продольном направлениях, которая обусловлена пропускной способностью каналов с различной шероховатостью и возникновением неоднородных полей давления.

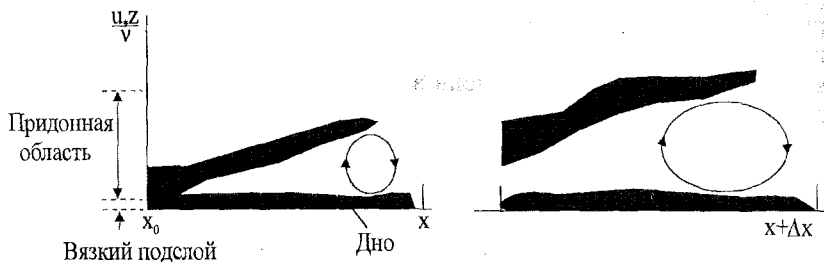


Рис.1 – Кинематическая структура обтекания препятствий в вязком подслое

На рис.1 приведено развитие кинематической структуры потока при обтекании крупных препятствий, соизмеримых по высоте с глубиной потока. Течение имеет не только поперечную, но и продольную неоднородность, что ограничивает применение известных моделей для

расчета пропускной способности каналов с произвольной шероховатостью.

Классическое распределение скоростей (по Прандтлю – Карману) для гидравлических шероховатых поверхностей [1, 2] имеет вид

$$\frac{\bar{U}}{u_*} = 8,48 + \frac{1}{\chi} \ln \frac{z}{k}, \quad (1)$$

где \bar{U} – осредненная продольная компонента скорости на расстоянии от дна z ; u_* – динамическая скорость, или скорость трения,

$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$; χ – универсальная постоянная Кармана, $\chi = 0,406$; z – вертикальная координата; k – параметр эквивалентной песочной шероховатости; τ_0 – максимальное значение напряжения Рейнольдса вблизи границы переходного слоя:

$$\tau_0 = \mu \frac{d\bar{U}}{dz} - \rho \overline{u'w'} \quad (2)$$

При $z \rightarrow 0$ уравнение (1) становится нефизическим, так как \bar{U} в точке $z=0$ стремится к $-\infty$. Зависимость (1) адекватно описывает вертикальный турбулентный профиль скорости при $z > 0$ (рис.2).

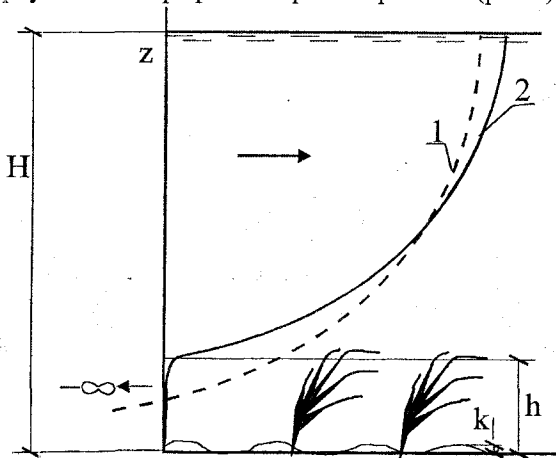


Рис.2 – Профили осредненной скорости по глубине потока:
1-профиль скорости, рассчитанный по формуле (1);
2- профиль скорости, полученный по опытным данным

На основании анализа размерности и ряда существующих моделей придонного слоя градиент скорости по вертикали зависит от динамической скорости u_* и расстояния z [1]:

$$\frac{d\bar{U}}{dz} = \frac{1}{\chi} \frac{u_*}{z} \quad (3)$$

В соответствии с приближением Буссинеска [1] касательное турбулентное напряжение можно представить как

$$\frac{\tau_0}{\rho} = \nu_T \frac{d\bar{U}}{dz} = \nu_T \cdot f(z) \cdot \frac{1}{\chi} \frac{u_*}{z}, \quad (4)$$

где ν_T – турбулентная кажущаяся вязкость; $f(z)$ – функция, обуславливающая изменение напряжений Рейнольдса по глубине (в соответствии с многочисленными опытными данными постоянство напряжений имеет место лишь в узком буферном слое [1]), $f(z) = \tau / \tau_0$.

Многочисленные экспериментальные данные показывают, что эта функция является нелинейной.

После интегрирования уравнения (4) в случае постоянства турбулентного напряжения Рейнольдса по толщине пограничного слоя получаем

$$\frac{\bar{U}(z)}{u_*} = \frac{\bar{U}_0}{u_*} + \frac{1}{\chi} \ln \frac{z}{k} \quad (5)$$

Выбор значения k определяется эквивалентной высотой выступов шероховатости над условной областью обтекаемой шероховатости, в которой следует принять скорость равной нулю.

В дальнейшем будем рассматривать вертикальную координату $z - h$, где h – условная высота потока, ниже которой скорость принимаем равной нулю:

$$h = E \frac{u_*^2}{g} \quad (6)$$

Здесь E – кинематическая энергия турбулентности; g – ускорение свободного падения.

Влияние конечной высоты сводится к тому, что профиль скорости должен быть логарифмическим при отсчете высот от определенного уровня $z = h$. Высоту h можно назвать высотой вытеснения по аналогии с понятием толщины вытеснения, вводимой в теории пограничного слоя [1].

При расчете вертикального профиля скорости h принималась равной, по сути, толщине вытеснения, которая обеспечила наилучшее совпадение опытных и расчетных значений продольной скорости, т.е. с помощью параметра h была выполнена идентификация математической модели.

Данные о значении параметра шероховатости k и высоте вытеснения $z_1 \approx h$ для различных типов естественных поверхностей приводятся в многочисленных источниках (см. [1]).

Высота вытеснения $z_1 \approx h$ при определенных условиях принимается равной нулю (невысокий травостой), а при высокой растительности – половине высоты растительности [1]. Целесообразно проводить численное экспериментирование значений h для наиболее близкого совпадения расчетных с опытными данными.

Будем предполагать, что профиль скорости, рассчитанный по зависимости (5), должен быть согласован с универсальным профилем Прандтля – Кармана (1) при $z \rightarrow \infty$

$$\bar{U}_0 = 8,48 = \frac{1}{\chi} \ln \alpha_\ell, \quad (7)$$

где α_ℓ – универсальная безразмерная постоянная, равная 30 [1].

С учетом (7) зависимость (5) принимает вид

$$\bar{U}(z-h) = \frac{1}{\chi} \ln \left(\frac{\alpha_\ell(z-h)}{k} + 1 \right). \quad (8)$$

Здесь z – эквивалентная высота песочной шероховатости.

При интегрировании (5) используем условие, что при $z = h$ $\bar{U}(z) = 0$.

В формуле (7) принято условие нулевой скорости, т.е. условие отсутствия сосредоточенного движения в продольном направлении ниже границы $z = h$.

На рис.3 сопоставляются рассчитанные и измеренные вертикальные профили осредненных скоростей [2]. Получено практически их адекватное совпадение.

Таким образом, результаты, полученные по формуле (8), практически совпадают с измеренными значениями даже без учета непостоянства напряжений Рейнольдса в слое сдвига скорости, вызванного наличием значительной шероховатости.

Далее представляется целесообразным рассмотреть влияние функции $f(z)$, представленной в виде полиномов $\tau(z)$ [3].

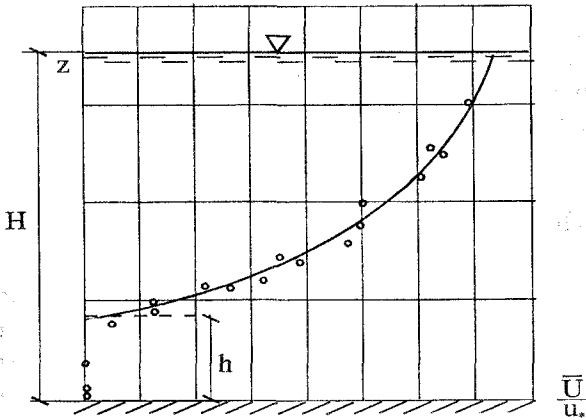


Рис.3 – Вертикальний профіль швидкості в каналі з произвольної шероховатістю

1. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Ч.1. – М.: Наука, 1965. – 640 с.
2. Cristensen B.A. Open channel and sheet flow over flexible roughness: - Proceedings of congress IAHR. 1985. – vol. 3. – 463 - 468 p.
3. Федяевский К.К., Гиневский А.С., Колесников А.В. Расчет турбулентного пограничного слоя несжимаемой жидкости. – Л.: Судостроение, 1973. – 255 с.

Получено 18.01.2002

УДК 628.16

В.О.ОРЛОВ, д-р техн. наук, Г.І.ТУРОВСЬКА
Рівненський державний технічний університет

ПІЩАНІ ФІЛЬТРИ З БІОПІГЛИНАЧАМИ ПРИ ОБРОБЦІ МАЛОКАЛАМУТНИХ КОЛЬОРОВИХ ВОД

Розглядається одноступінчаста схема очищення технічної і питної води на піщаних фільтрах з біопіглиначем. Наведено результати досліджень, визначені умови застосування дво- та тріступінчастої схеми очищення води, показані переваги запропонованої технології.

Основна маса води для міських і промислових потреб надходить з поверхневих джерел, якість води в яких не відповідає вимогам споживачів через наявність в ній завислих і колоїдних частинок, що надають воді каламутності й кольоровості. Підвищується забруднення річкового стоку органічними сполуками, фенолами, нітрагами, пестицидами, нафтопродуктами, патогенними мікроорганізмами. Існуючі технології водоочистки, розроблені ще в 50-ті роки, сьогодні не справляються з високим антропогенним навантаженням на поверхневі води. Це викли-