

УДК 628.143.1 66.015.23

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ И ПЕРЕМЕННОЙ ПЛОТНОСТИ ПО ДЛИНЕ КАНАЛА

Яхшибаев Д.С., Худайкулов С.И., Усмонов А.Х.

Коллектор сувининг канал суви диффузияси орқали ўзгарувчан концентрациянинг ўзгаришини башоратлаш қаралади. Канал узунлиги бўйича коллектор суви ва канал суви аралашиниш концентрациясининг аналитик формуласи берилади.

Таянч иборалар: коллектор, манба, инектор, туз сувининг тарқалиши, компонентлар, сув ифлосланиши, диффузия, аналитик формулалар.

The prediction of the diffusion process is considering for the distribution of the concentration of variable density along the length of the channel. There is an analytical formula, given to determine the light of the path of complete mixing of the collector water with fresh water.

The lands of Syrdarya, part of Jizzakh and other regions, have collector saline waters, for transfer and use in irrigation areas of these waters are mixed by canal water to such an extent that the concentration of mixed water is acceptable for irrigation. When transferring collector salt water to the channel, a diffusion process takes place, where the concentration and composition of the fresh water of the main channel changes.

Consider the prediction of the diffusion process when the concentration of a variable density is distributed along the length of the channel.

The following problem was solved: mixing a plane-parallel jet with a moving surrounding liquid. Mixing a jet flowing out of a very small orifice with a moving medium. An analytical formula for determining the concentration of a mixture of collector and wastewater is given. The formula for determining the length of the path of complete mixing of collector water with fresh water is obtained. Recommended for use in irrigation of lands of the Syrdarya and Jizzakh regions.

Keywords: collector, source, injector, diffusion of salt water, component, water pollution, diffusion, analytical formula.

Рассматривается прогнозирование процесса диффузии при распределении концентрации переменной плотности по длине водного канала, приводится аналитическая формула по определению длины пути полного смешения коллекторной воды с пресной водой.

Ключевые слова: коллектор, источник, инжектор, диффузия соленой воды, диффузия в жидкость, компонент, загрязнения вод, диффузия, аналитическая формула.

I. ВВЕДЕНИЕ

На землях Сирдарьинской, частично Жиззахской и других областей республики имеются коллекторные солённые воды. Для переброски и использования в оросительных площадях эти воды перемешивают с водами каналов до такой степени, чтобы концентрация смешанной воды была приемлема для орошения. При переброске коллекторных солёных вод в оросительный канал происходит диффузионный процесс, при этом меняется концентрация и состав пресной воды основного канала.

Рассмотрим прогнозирование процесса диффузии при распределении концентрации переменной плотности по длине канала.

Из коллектора определенной засолённости вода сбрасывается в канал. Задачу переброски коллекторной воды как растворителя сбрасываемых вод A в канал и условий равномерного распределения моделируем как диффузию компонента канала B , инжектируемого в растворитель A , движущийся в направлении оси Ox с постоянной скоростью w_0 .

Вбрасываемую воду из коллектора в канал солённую воду моделируем как диффузию из точечного источника и используем при анализе профиля концентраций и определении коэффициентов вихревой диффузии [1,2].

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для открытых потоков с одинаковым поперечным сечением каналов уравнение одномерной диффузии с учетом разности плотностей сбрасываемых вод имеет вид:

$$\rho \frac{\partial(\rho C)}{\partial t} + \rho \frac{\partial(\rho C)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_x \frac{\partial(\rho C)}{\partial x} \right] \quad (1)$$

где ρ - плотность поступающего потока.

Рассмотрим стационарный случай диффузии с учетом неконсервативности. Тогда уравнение (1) примет вид:

$$\rho \frac{\partial(\rho C)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_x \frac{\partial(\rho C)}{\partial x} \right] + k(\rho C) \quad (2)$$

При постоянной плотности перемешивание обусловлено только турбулентностью, вызванной внешними причинами.

Рассмотрим поток вдоль оси x в интервале $0 \leq x \leq l$; при $x = 0$ отделим жидкость с концентрацией загрязняющих веществ C_0 и плотностью ρ от

жидкости, не содержащей загрязняющих веществ. Предположим, что средняя скорость потока постоянная, а турбулентность однородная, т.е. $D_x = D = const$.

Исходя из условия, что $\rho_{см} = \rho_1$ при $x = 0$ и $\rho_{см} = \rho$ при $x = l$ (где ρ_1 - плотность сточных вод; l - расстояние от начала выпуска до створа полного смешения), для функции $\rho(x)$ принимаем зависимость [3]:

$$\rho_{см}(x) = \rho + (\rho_1 - \rho)e^{-\beta x}, \quad (3)$$

где

$$\beta = \sqrt{\left[\frac{g}{(2D)}\right]^2 + \frac{k}{D} - \frac{g}{(2D)}}$$

Для решения поставленной задачи принимаем следующие граничные условия:

$$C = C_0 \text{ при } x = 0; \quad C = \left(\frac{100}{P} - 1\right)C_0 \text{ при } x = l \quad (4)$$

где C_0 - начальная средняя (максимальная) по сечению концентрация загрязнений; C_1 - допустимая концентрация после $P\%$ -ного смешения.

Подставляя зависимость (3) в уравнение (2), получим [2,5]:

$$\begin{aligned} g \frac{d}{dx} \left\{ \left[\rho + (\rho_1 - \rho)e^{-\beta x} \right] C \right\} &= D \frac{d^2}{dx^2} \left\{ \left[\rho + (\rho_1 - \rho)e^{-\beta x} \right] C \right\} \pm \\ \pm k \left\{ \left[\rho + (\rho_1 - \rho)e^{-\beta x} \right] C \right\} &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Если представить поддифференциальное выражение функции, зависящей от x , как $F(x)$, то уравнение (5) превращается в однородное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами:

$$\frac{d^2 F}{dx^2} - \frac{g}{D} \frac{dF}{dx} - \frac{k}{D} F = 0 \quad (6)$$

характеристическое уравнение имеет вид:

$$\lambda^2 - \frac{g}{D} \lambda - \frac{k}{D} F = 0,$$

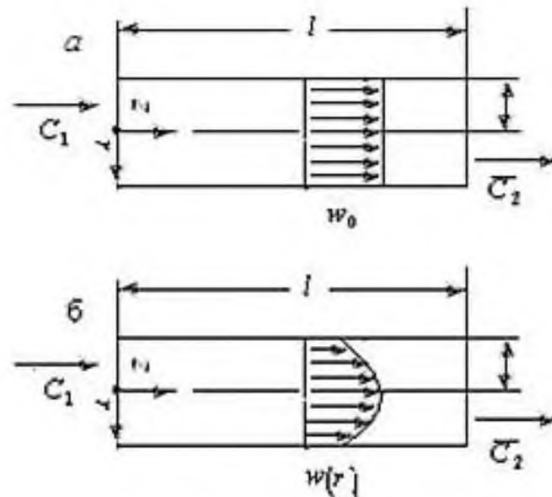


Рис.1 Диффузия коллекторной воды круглой трубы в пресную воду.
 а - плоский профиль, б - параболический профиль

Решая квадратное уравнение находим:

$$\lambda_{1,2} = \frac{g}{2D} \pm \sqrt{\left[\frac{g}{(2D)}\right]^2 + \frac{k}{D}}$$

Таким образом, общее решение уравнения (6) будет имеет вид [9-11]:

$$F = C_1 e^{\lambda_1 x} + C_2 e^{\lambda_2 x} \tag{7}$$

Исходя из того, что значение

$$\lambda_2 = \frac{g}{2D} - \sqrt{\left[\frac{g}{(2D)}\right]^2 + \frac{k}{D}}$$

нарушает физику процесса, так как вдоль потока концентрация должна увеличиваться, поэтому вторым членом в формуле (7) пренебрегаем. Принимая формулу (7) в виде:

$$F = \left[\rho + (\rho_1 - \rho) e^{-\beta x} \right] C$$

и учитывая сказанное выше, получим:

$$\left[\rho + (\rho_1 - \rho) e^{-\beta x} \right] C = C_1 e^{-\beta x}$$

Или

$$C(x) = \frac{C_1 e^{-\beta x}}{\left[\rho + (\rho_1 - \rho_0) e^{-\beta x} \right]} \tag{8}$$

Определив из условий (4) $C_1 = \rho_1 S_0$ и подставляя это значение в формулу (7), получим:

$$C(x) = \frac{\rho_1 C_0 e^{-\beta x}}{\left[\rho + (\rho_1 - \rho_0) e^{-\beta x} \right]} \quad (9)$$

По формуле (9) можно найти концентрацию загрязнения на любом удалении от начала выпуска с учетом разности плотностей речной и сточной воды.

Определение длины пути полного смешения. В теории смешения сточной воды с водой водотока важное значение имеет отыскание створа полного смешения. Из формулы (10) можно определить расстояние до створа $P\%$ -ного смешения, задаваясь условием (4) и учитывая, что

$$C_0(x) = \frac{(C_{ст} q_{ст} + C_p q_p)}{(q_{ст} + Q_p)} \quad (10)$$

где $q_{ст}, Q_p$ - расход сточной и речной воды; C_p - фоновая концентрация; $C_{ст}$ - концентрация сточных вод.

Подставляя выражение (10) в уравнение (9) и учитывая условие (4), после несложных преобразований получим [12-13,2]:

$$l = \frac{2,3}{\beta} \lg \left[\frac{\rho_1 (q_{ст} + Q_p) C_{ст}}{\rho \left(\frac{100}{P} - 1 \right) (C_p Q_p + C_{ст} q_{ст})} - \frac{\rho_1 - \rho}{\rho} \right] \quad (11)$$

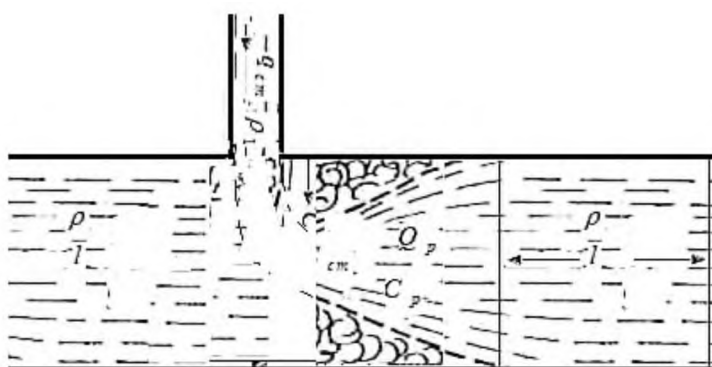


Рис.2 Сброс в канал коллекторных вод

Исходя из того, что

$$\frac{\rho_1 - \rho}{\rho} \leq \left[\frac{\rho_1 (q_{cm} + Q_p) C_{cm}}{\rho \left(\frac{100}{P} - 1 \right) (C_p Q_p + C_{cm} q_{cm})} \right],$$

формулу (11) можно представить в виде:

$$l = \frac{2,3}{\beta} \lg \left[\frac{\rho_1 (q_{cm} + Q_p) C_{cm}}{\rho \left(\frac{100}{P} - 1 \right) (C_p Q_p + C_{cm} q_{cm})} \right] \quad (12)$$

При $C_p = 0$ и $P = 85\%$ формула (12) принимает более простой вид:

$$l = \frac{2,3}{\beta} \lg \left[\frac{5,68 \rho_1 \cdot (q_{cm} + Q_p)}{\rho q_{cm}} \right]$$

По этой формуле можно определить длину пути 85%- ного смешения.

Длина пути смешения коллекторной воды с речной водой

Таблица 1.

$Q, \frac{m^3}{c}$	H_{cp}, m	$q, \frac{m}{c}$	Длина пути смешения, м, рассчитанная			
			по формуле (13)			по формуле И. Д. Родзиллера.
			без учета $\Delta\rho$	При $\Delta\rho < 0$	При $\Delta\rho > 0$	
608	2	1,74	14594	13134,6	16053,4	14160,7
313	1,6	1,1	20147,3	18132,8	22161,8	16844,4
266	1,65	1,14	19479,2	19531,9	21479,2	14345,7
129	1,1	0,74	26680,7	24048	29348	21024,6

В табл.1. приведены результаты подсчета по формуле (12) без учета и с учетом разности плотностей при $q_{cm} = 3 \frac{m^3}{c}$, там же приведены данные, подсчитанные по формуле И.Д.Родзиллера. Следует отметить, что при выпуске сточных вод с большей плотностью, чем плотность речной воды, обычно пренебрегают частью области загрязнения, а при $\rho_{cm} < \rho$, наоборот, - областью без загрязнения.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учет разности плотностей при определении зоны загрязнения является актуальной задачей. В данной статье рассмотрен вопрос прогнозирования процесса диффузии при распределении концентрации переменной плотности

по длине канала. По результатам моделирования приведены показатели длины пути смешения коллекторной воды с речной водой, из которых следует, что область загрязнения достигает своего максимума при $\Delta\rho > 0$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кафаров В.В. Основы массопередачи. Москва 1972г.- 496с.
- [2] Ибад-заде Ю.А. Транспортирование воды в открытых каналах. Москва 1983г. - 272с.
- [3] Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика, ч.1.М., «Наука», 1965- 325с.
- [4] Нетюхайло А.П., Шеренков И.А. Структура пограничного слоя раздела потоков разноплотностных жидкостей.-«Известия высших учебных заведений. Энергетика» Минск, 1969, № 4.
- [5] Arya S.P.S. The critical condition for maintenance of turbulence in stratified flows. Quar J.R. Met.Soc.,98,1972.
- [6] Ellison T.H., Turner I.S. Mixing of Dense Fluid in a Turbulent Pipe Flow. Journ. Fluid Mechanics,8, No.4,1960.
- [7] Хамидов А.А., Худайкулов С.И. «Теория струй вязких многофазных жидкостей». «ФАН» 2003 г., -140 стр.
- [8] Жовлиев У.Т., Худайкулов Б.С. «Исследования различных конструкций компоновок водопроводящих трактов гидротехнических сооружений». Монография. Издательство «Наврз» Ташкент-2018 - 125 стр.
- [9] Яхшибаев Д.С. Плоская задача о движении дисперсной смеси в водохранилище // Вестник НУУЗ, 2012, №1, Тошкент – с.34-38.
- [10] Яхшибаев Д.С., Худайкулов Б.С., Ишчанов Ж.К., Кучкарова Д.Х. Колебания упругой пластинки, плавающей на поверхности дисперсной смеси // Журнал «Проблемы механики», 2013, №2, Тошкент – с.52-57.
- [11] Худайкулов Б.С., Махмудов, И.Э. Яхшибаев Д.С. Движение дисперсной смеси в неоднородной среде к скважине // Журнал «Проблемы механики», 2013, №3-4, Тошкент – с.147-151.
- [12] Яхшибаев Д.С. Критерии динамической устойчивости стратифицированных потоков // Журнал «Muhammad Al-Horazmiy avlodlari», 2017, №1, Тошкент – с.37-42.
- [13] Яхшибаев Д.С. Моделирование динамики развития стратификационных течений многофазных жидкостей // Журнал «Информационные технологии моделирования и управления», 2018, №3(111), Воронеж – с.213-220.
- [14] Махмудова Д.Э., Хамидов А.А., Яхшибаев Д.С. Задача о волнах на поверхности многослойного потока дисперсной смеси жидкости //

«Ҳисоблаш ва амалий математика масалалари» (илмий мақолалар тўплами) №119/2008, Тошкент– с. 98-105.

- [15] Яхшибаев Д.С. Применение теории струй многофазных жидкостей к стратифицированным течениям // Фундаментальная и прикладная наука: основные итоги 2016 г.: Материалы II Ежегодной международной научной конференции. 15-16 декабря 2016. – Санкт-Петербург, Россия – Северный Чарльстон, Южная Каролина, США, 2016 – с.35-39.