

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСВЕЩЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Бадавлатова Б.Х.¹, Амирзода О.Х.², Каландарбеков И.¹

¹Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими

²Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ

Аннотация: В статье рассматривается математическое моделирование процесса осветления поверхностных вод. Изложено сравнение экспериментальных и теоретических результатов. Определена зависимость осадки от времени для различных концентраций коагулянта и флокулянта. Сопоставительный анализ результатов показывает, что погрешность не превышает 5%, что свидетельствует о достоверности полученных результатов.

Ключевые слова: концентрация, коагулянт, полимер, мутность, осветление, осадок.

Для нахождения математической модели эксперимента используются такие методы как МНК, интерполяционные многочлены, экстраполяционные формулы и т.д. Численное моделирование процесса предварительного осветления питьевой воды совместным применением коагулянта сульфата алюминия и флокулянта «POLY SEPAR AN 34 TW» было рассмотрено в [1, с.75-80]. В нашем случае, для выяснения влияния предварительной обработки воды с применением сочетания сульфата алюминия и катионного

флокулянта нитрофлока 215 находим модель с помощью интерполяционной формулы. Наш эксперимент с проведением коагулянта сульфата алюминия и флокулянта нитрофлок 215 состоит из пяти измерений по времени и мутности воды. Суть интерполяционной формулы состоит в том, что процесс представляется в виде многочлена положительными показателями [2, с.352, 3, 4, с.18]. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты осветления воды в зависимости от времени исследования и дозы смеси коагулянта сульфата алюминия и флокулянта нитрофлока 215

Исходная мутность, мг/дм ³	Раствор коагулянта, мг/дм ³	Раствор флокулянта нитрофлока 215, мг/дм ³	Время исследования проб, мин				
			0	15	30	40	60
238	1	0,1	238	78	57	52	49,0
	2	0,2	238	72	57	52	41
	3	0,3	238	62	44	39	27,9
	4	0,4	238	57	39	31	25,9
420	20	0,2	420	22,7	20,2	19,1	17,1
	30	0,3	420	17,6	14,0	11,9	11,4
	50	0,5	420	14,0	10,9	9,3	8,8
1030	20	0,2	1030	27,9	24,8	24,3	20,7
	30	0,3	1030	31	30,5	28,9	27,9
	50	0,5	1030	23,8	21,7	20,2	17,6
1500	20	0,2	1500	114	40,3	36,1	35,1
	30	0,3	1500	103	39,2	36,1	34,1
	50	0,5	1500	57	29,9	28,9	24,8

Поскольку эксперимент состоит с учётом начального состояния из пяти значений, зависимость осадки масса грязи воды от времени будем искать в виде полинома, то есть многочленом четвёртой степени:

$$m(t) = at^4 + bt^3 + ct^2 + dt + e \quad (1)$$

где - масса грязи мутности

- время осадки

Определим коэффициенты и используя значения таблицы проведенных экспериментов для концентрации коагулянта – 1 мг/дм³ - и флокулянта - 0,1 мг/дм³.

$$\begin{cases} a \cdot 0^4 + b \cdot 0^3 + c \cdot 0^2 + d \cdot 0 + e = 238 \\ a \cdot 15^4 + b \cdot 15^3 + c \cdot 15^2 + d \cdot 15 + e = 78 \\ a \cdot 30^4 + b \cdot 30^3 + c \cdot 30^2 + d \cdot 30 + e = 57 \\ a \cdot 40^4 + b \cdot 40^3 + c \cdot 40^2 + d \cdot 40 + e = 52 \\ a \cdot 60^4 + b \cdot 60^3 + c \cdot 60^2 + d \cdot 60 + e = 49 \end{cases} \quad (2)$$

Отсюда , и подставляя в систему уравнения (2) упрощаем её:

$$\begin{cases} 15 \cdot (15^3 a + 15^2 b + 15c + d) = -160 \\ 30 \cdot (30^3 a + 30^2 b + 30c + d) = -181 \\ 40 \cdot (40^3 a + 40^2 b + 40c + d) = -186 \\ 60 \cdot (60^3 a + 60^2 b + 60c + d) = -189 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3375a + 225b + 15c + d = -10,6667 \\ 27000a + 900b + 30c + d = -6,0333 \\ 64000a + 1600b + 40c + d = -4,65 \\ 216000a + 3600b + 60c + d = -3,15 \end{cases}$$

Для определения коэффициентов a, b, c и d решаем систему методом Крамера:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & 15 & 1 \\ 27000 & 900 & 30 & 1 \\ 64000 & 1600 & 40 & 1 \\ 216000 & 3600 & 60 & 1 \end{vmatrix} = 101 \quad 250 \quad 000$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -10,6667 & 225 & 15 & 1 \\ -6,0333 & 900 & 30 & 1 \\ -4,65 & 1600 & 40 & 1 \\ -3,15 & 3600 & 60 & 1 \end{vmatrix} = 10 \quad 600$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3375 & -10,6667 & 15 & 1 \\ 27000 & -6,0333 & 30 & 1 \\ 64000 & -4,65 & 40 & 1 \\ 216000 & -3,15 & 60 & 1 \end{vmatrix} = -1 \quad 591 \quad 650$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & -10,6667 & 1 \\ 27000 & 900 & -6,0333 & 1 \\ 64000 & 1600 & -4,65 & 1 \\ 216000 & 3600 & -3,15 & 1 \end{vmatrix} = 86 \quad 204 \quad 250$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & 15 & -10,6667 \\ 27000 & 900 & 30 & -6,0333 \\ 64000 & 1600 & 40 & -4,65 \\ 216000 & 3600 & 60 & -3,15 \end{vmatrix} = -2 \quad 050 \quad 758 \quad 000$$

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{10 \quad 600}{101 \quad 250 \quad 000} = 1,0469 \cdot 10^{-4}$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{1 \quad 591 \quad 650}{101 \quad 250 \quad 000} = -0,01572$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{86 \quad 204 \quad 250}{101 \quad 250 \quad 000} = 0,8514$$

$$d = \frac{\Delta_4}{\Delta} = \frac{2 \quad 050 \quad 758 \quad 000}{101 \quad 250 \quad 000} = -20,2544$$

$$m(t) = 238 - 20,2544t + 0,8514 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^2 - 15,72 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^3 + 1,0469 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^4$$

Находим зависимость осадки от времени для концентрации коагулянта – 2 мг/дм³ - и флокулянта - 0,2 мг/дм³.

$$\begin{cases} a \cdot 0^4 + b \cdot 0^3 + c \cdot 0^2 + d \cdot 0 + e = 238 \\ a \cdot 15^4 + b \cdot 15^3 + c \cdot 15^2 + d \cdot 15 + e = 72 \\ a \cdot 30^4 + b \cdot 30^3 + c \cdot 30^2 + d \cdot 30 + e = 57 \\ a \cdot 40^4 + b \cdot 40^3 + c \cdot 40^2 + d \cdot 40 + e = 52 \\ a \cdot 60^4 + b \cdot 60^3 + c \cdot 60^2 + d \cdot 60 + e = 41 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 15 \cdot (15^3 a + 15^2 b + 15c + d) = -166 \\ 30 \cdot (30^3 a + 30^2 b + 30c + d) = -181 \\ 40 \cdot (40^3 a + 40^2 b + 40c + d) = -186 \\ 60 \cdot (60^3 a + 60^2 b + 60c + d) = -197 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3375a + 225b + 15c + d = -11,0667 \\ 27000a + 900b + 30c + d = -6,0333 \\ 64000a + 1600b + 40c + d = -4,65 \\ 216000a + 3600b + 60c + d = -3,2833 \end{cases}$$

$$\Delta = 101 \quad 250 \quad 000$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -11,0667 & 225 & 15 & 1 \\ -6,0333 & 900 & 30 & 1 \\ -4,65 & 1600 & 40 & 1 \\ -3,2833 & 3600 & 60 & 1 \end{vmatrix} = 12 \quad 500,9$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3375 & -11,0667 & 15 & 1 \\ 27000 & -6,0333 & 30 & 1 \\ 64000 & -4,65 & 40 & 1 \\ 216000 & -3,2833 & 60 & 1 \end{vmatrix} = -1 \quad 861 \quad 373$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & -11,0667 & 1 \\ 27000 & 900 & -6,0333 & 1 \\ 64000 & 1600 & -4,65 & 1 \\ 216000 & 3600 & -3,2833 & 1 \end{vmatrix} = 98 \quad 048 \quad 036$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & 15 & -11,0667 \\ 27000 & 900 & 30 & -6,0333 \\ 64000 & 1600 & 40 & -4,65 \\ 216000 & 3600 & 60 & -3,2833 \end{vmatrix} = -2 \quad 214 \quad 081 \quad 000$$

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{12 \quad 500,9}{101 \quad 250 \quad 000} = 1,2346 \cdot 10^{-4}$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{1 \quad 861 \quad 373}{101 \quad 250 \quad 000} = -18,3839 \cdot 10^{-3}$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{98 \quad 048 \quad 036}{101 \quad 250 \quad 000} = 96,8376 \cdot 10^{-2}$$

$$d = \frac{\Delta_4}{\Delta} = \frac{2 \quad 214 \quad 081 \quad 000}{101 \quad 250 \quad 000} = -21,86$$

$$m(t) = 238 - 21,86t + 96,8376 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^2 - 18,3839 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^3 + 1,2346 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^4$$

Находим зависимость осадки от времени для концентрации коагулянта – 3мг/дм³ - и флокулянта - 0,3 мг/дм³.

$$\begin{cases} a \cdot 0^4 + b \cdot 0^3 + c \cdot 0^2 + d \cdot 0 + e = 238 \\ a \cdot 15^4 + b \cdot 15^3 + c \cdot 15^2 + d \cdot 15 + e = 62 \\ a \cdot 30^4 + b \cdot 30^3 + c \cdot 30^2 + d \cdot 30 + e = 44 \\ a \cdot 40^4 + b \cdot 40^3 + c \cdot 40^2 + d \cdot 40 + e = 39 \\ a \cdot 60^4 + b \cdot 60^3 + c \cdot 60^2 + d \cdot 60 + e = 27,9 \end{cases}$$

$$e = 238$$

$$\begin{cases} 3375a + 225b + 15c + d = -11,7333 \\ 27000a + 900b + 30c + d = -6,4667 \\ 64000a + 1600b + 40c + d = -4,975 \\ 216000a + 3600b + 60c + d = -3,5017 \end{cases}$$

$$\Delta = 101 \quad 250 \quad 000$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -11,7333 & 225 & 15 & 1 \\ -6,4667 & 900 & 30 & 1 \\ -4,975 & 1600 & 40 & 1 \\ -3,5017 & 3600 & 60 & 1 \end{vmatrix} = 12 \quad 511,605$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3375 & -11,7333 & 15 & 1 \\ 27000 & -6,4667 & 30 & 1 \\ 64000 & -4,975 & 40 & 1 \\ 216000 & -3,5017 & 60 & 1 \end{vmatrix} = -1 \quad 881 \quad 314,625$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & -11,7333 & 1 \\ 27000 & 900 & -6,4667 & 1 \\ 64000 & 1600 & -4,975 & 1 \\ 216000 & 3600 & -3,5017 & 1 \end{vmatrix} = 100 \quad 503 \quad 213,8$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & 15 & -11,7333 \\ 27000 & 900 & 30 & -6,4667 \\ 64000 & 1600 & 40 & -4,975 \\ 216000 & 3600 & 60 & -3,5017 \end{vmatrix} = -2 \quad 314 \quad 468 \quad 750$$

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{12 \quad 511,605}{101 \quad 250 \quad 000} = 1,2357 \cdot 10^{-4}$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{1 \quad 881 \quad 314,625}{101 \quad 250 \quad 000} = -18,5809 \cdot 10^{-3}$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{100 \quad 503 \quad 213,8}{101 \quad 250 \quad 000} = 99,2624 \cdot 10^{-2}$$

$$d = \frac{\Delta_4}{\Delta} = \frac{2 \quad 314 \quad 468 \quad 750}{101 \quad 250 \quad 000} = -22,8589$$

$$m(t) = 238 - 22,8589t + 99,2624 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^2 - 18,5809 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^3 + 1,2357 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^4$$

Находим зависимость осадки от времени для концентрации коагулянта – 4мг/дм³ - и флокулянта - 0,4 мг/дм³.

$$\begin{cases} a \cdot 0^4 + b \cdot 0^3 + c \cdot 0^2 + d \cdot 0 + e = 238 \\ a \cdot 15^4 + b \cdot 15^3 + c \cdot 15^2 + d \cdot 15 + e = 57 \\ a \cdot 30^4 + b \cdot 30^3 + c \cdot 30^2 + d \cdot 30 + e = 39 \\ a \cdot 40^4 + b \cdot 40^3 + c \cdot 40^2 + d \cdot 40 + e = 31 \\ a \cdot 60^4 + b \cdot 60^3 + c \cdot 60^2 + d \cdot 60 + e = 25,9 \end{cases}$$

$$e = 238$$

$$\begin{cases} 3375a + 225b + 15c + d = -12,0667 \\ 27000a + 900b + 30c + d = -6,6333 \\ 64000a + 1600b + 40c + d = -5,175 \\ 216000a + 3600b + 60c + d = -3,535 \end{cases}$$

$$\Delta = 101 \quad 250 \quad 000$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -12,0667 & 225 & 15 & 1 \\ -6,6333 & 900 & 30 & 1 \\ -5,175 & 1600 & 40 & 1 \\ -3,535 & 3600 & 60 & 1 \end{vmatrix} = 14 \quad 688,45$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3375 & -12,0667 & 15 & 1 \\ 27000 & -6,6333 & 30 & 1 \\ 64000 & -5,175 & 40 & 1 \\ 216000 & -3,535 & 60 & 1 \end{vmatrix} = -2 \quad 124 \quad 925$$

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{14 \quad 688,45}{101 \quad 250 \quad 000} = 1,4557 \cdot 10^{-4}$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{2 \quad 124 \quad 925}{101 \quad 250 \quad 000} = -20,9869 \cdot 10^{-3}$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{109 \quad 162 \quad 750}{101 \quad 250 \quad 000} = 1,0782$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & -12,0667 & 1 \\ 27000 & 900 & -6,6333 & 1 \\ 64000 & 1600 & -5,175 & 1 \\ 216000 & 3600 & -3,535 & 1 \end{vmatrix} = 109 \quad 162 \quad 750$$

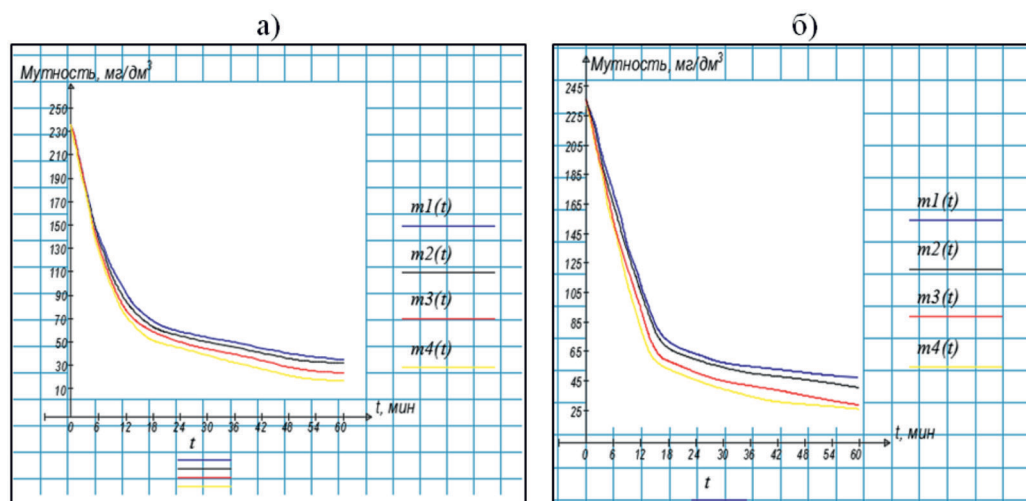
$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & 15 & -12,0667 \\ 27000 & 900 & 30 & -6,6333 \\ 64000 & 1600 & 40 & -5,175 \\ 216000 & 3600 & 60 & -3,535 \end{vmatrix} = -2 \quad 430 \quad 656 \quad 250$$

$$d = \frac{\Delta_4}{\Delta} = \frac{2 \quad 430 \quad 656 \quad 250}{101 \quad 250 \quad 000} = -24,0065$$

$$m(t) = 238 - 24,0065t + 1,0782 \cdot t^2 - 20,9869 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^3 + 1,4507 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^4$$

В результате сопоставительного анализа результатов экспериментальных данных и численного моделирования выяснилось, что погрешность не превышает 5%, это свидетельствует о достоверности полученных результатов.

Графические интерпретации предварительного осветления воды, полученные методом полинома и экспериментальным путём, при разных значениях времени осаждения и исходной мутности воды – 238 мг/дм³ представлены на рисунке 1.



а) математическое моделирование;

б) экспериментальное исследование

Рис. 1. - Процесс осветления воды, полученный по программе PTC Mathcad Prime 4.0 при исходной мутности 238 мг/дм³

Литература.

1. Бадавлатова Б.Х. Численное моделирование задачи процесса осветления питьевой воды / Б.Х. Бадавлатова, И.К. Каландарбеков, О.Х. Амирзода, Ш.А. Саидов

// XIX международная научно-практическая конференция: Современная наука: Актуальные вопросы, достижения и инновации. – Пенза, 2021. - Ч.1, С.75-80.

2. Линник, Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений / Ю.В.Линник // ГИФ-математической литературы. Москва, 1962, 352 с.
3. ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений.
4. Низомов Д.Н. Численный анализ модели сейсмоизолированного многоэтажного здания / Д.Н.Низомов, И.К. Каландарбеков., А.А.Ходжибоев // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – Москва, 2017. - №3. – С.16-20.
5. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Методики проведения технологических изысканий и моделирования процессов очистки воды на водопроводных станциях. – М.: НИИ КВОВ, Водкоммунтех. 2001.

АМСИЛАСОЗИИ МАТЕМАТИКИИ РАВАНДИ ШАФФОФКУНИИ ОБҲОИ РӮИЗАМИНӢ

Бадавлатова Б.Х., Амирзода О.Х., Каландарбеков И.

Аннотатсия. Дар мақола амсиласозии математикии раванди шаффофкунии обҳои рӯизаминӣ баррасӣ мешавад. Муқоисаи натиҷаҳои таҷрибавӣ ва назариявӣ оварда шудааст. Вобастагии тақсоншавӣ ба консентратсияи гуногуни коагулянт ва флокулянт муайян карда шуд. Таҳлили муқоисавии натиҷаҳо нишон медиҳад, ки хатогӣ аз 5% зиёд нест ва ин аз эътимоднокии натиҷаҳои бадастомада шаҳодат медиҳад.

Калидвожаҳо: консентратсия, коагулянт, полимер, тирагӣ, шаффофкунӣ, таҳшин.

MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF CLARIFICATION OF SURFACE WATER

Badavlatova B.Kh., Amirzoda O.Kh., Qalandarbekov I.

Annotation: The article deals with mathematical modeling of the surface water clarification process. A comparison of experimental and theoretical results is presented. The dependence of sedimentation on time for various concentrations of coagulant and flocculant was determined. A comparative analysis of the results shows that the error does not exceed 5%, which indicates the reliability of the results obtained.

Key words: concentration, coagulant, polymer, turbidity, clarification, sediment.

Маълумот дар бораи муаллифон:

Амирзода Ориф Ҳамид – д.и.т., дотсент, директори Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон (АМИТ). E-mail: orif2000@mail.ru тел.: +992 93 728 72 72.

Бадавлатова Бунафша Худоёровна - выпускница (2009 с.) ДТТ, унвонҷӯи кафедраи “Системы таъмини об, газу гармӣ ва ҳавотозакунӣ” ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ, круг научной деятельности – «Мукамалгардонии раванди шаффофкунии пешакии обҳои рӯизаминӣ (дар мисоли пойгоҳи обтозакунии худчории шаҳри Душанбе)». E-mail: bbadavlatova@mail.ru, тел: +992 88 440 80 02

Каландарбеков Имомёрбек - доктори илмҳои техникӣ, профессор, аъзои корп. Академии Байналмилалӣ Мухандисӣ. 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 Худоевона - 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