

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СМЕСИТЕЛЬНОЙ ДИАФРАГМЫ

В статье рассмотрены основные факторы, влияющие на эффективность работы диафрагмы специальной конструкции в смесительном устройстве при очистке сточных вод методом напорной флотации. Приведены результаты математического моделирования эффективности удаления взвешенных веществ из сточных вод молокоперерабатывающего предприятия.

Ключевые слова: математическое моделирование, факторы влияния, полный факторный эксперимент, флотационная установка, смесительная диафрагма.

Введение: на современном этапе развитие технологий и процессов не представляется возможным без построения математических моделей. Многими авторами [1 – 6] разработаны современные методики решения на компьютерах систем уравнений математического описания, описывающих реальные процессы в стационарном и нестационарном состояниях. В основу их положен метод математической декомпозиции и использование стандартных вычислительных процедур для решения типовых расчетных задач, связанных с решениями конечных уравнений (линейных и нелинейных) и обыкновенных дифференциальных уравнений.

В общем случае для любых технологических систем можно выделить три последовательных этапа компьютерного моделирования:

- построение модели процесса;
- обеспечение ее адекватности;
- реализация процесса моделирования, т.е. проведение расчетных исследований.

Для эффективного анализа механизма явлений и управления объектом необходимо выявить взаимосвязь факторов, определяющих ход процесса, и представить их в количественной форме – в виде математической модели. Такая модель является математическим отображением наиболее существенных сторон процесса. Она представляет собой совокупность соотношений (формул, уравнений, неравенств, логических условий и т.д.), определяющих характеристики состояний объекта в зависимости от параметров объекта, условий и времени. Модель позволяет:

- получить информацию о процессах, протекающих в объекте;
- рассчитать характеристики объекта, т.е. анализировать и проектировать их;
- получить информацию, которую можно использовать для управления моделируемым объектом [5, 6].

Цель и задачи. Одной из важных целей при разработке и запуске процессов с непрерывным характером производства является определение и поддержание оптимального режима процесса. Оптимизацию работы напорного флотатора при очистке сточных вод молокоперерабатывающего предприятия можно выполнить только с помощью математических моделей технологических процессов, то есть зависимостей эффекта очистки воды от показателей качества воды (исходного содержания взвешенных веществ, ХПК, БПК, жиров, фосфатов), которая подвергается обработке, скорости движения обрабатываемой воды в смесительном устройстве, геометрических размеров и параметров диафрагмы и дозы применяемого реагента [7–9].

Для решения данной задачи оптимизации был выбран математический метод обработки экспериментальных данных [5, 6], это дает возможность получить наиболее достоверные эмпирические зависимости при сравнительно небольшом количестве опытов. Данный метод представляет собой объединение теоретического и экспериментального исследования объекта управления. При этом вид математической модели определяется теоретическими исследованиями, а коэффициенты модели рассчитываются на основании экспериментальных данных, и соответственно, несут на себе погрешность эксперимента. Для успешного применения математической модели при решении задач оптимизации проводится проверка ее адекватности реальному процессу.

Применение данного метода оптимального планирования эксперимента дает возможность варьировать не одним, а несколькими факторами одновременно. Ценность этого метода заключается в том, что оценивается не только влияние каждого фактора, но и получают информацию о их взаимодействии.

Результаты исследований. Прогнозирование значений влияющих факторов является одним из важных вопросов в управлении процессом очистки сточных вод и позволяет наладить работу системы очистки в зависимости от параметров исходной воды. Прогноз составляется на базе экспериментальных данных. Для того чтобы он был наиболее точным, эксперимент необходимо проводить дифференцировано по сезонам года с максимально возможным количеством точек.

В качестве параметров, которые определяют эффективность очистки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий методом напорной флотации, были выбраны эффект удаления взвешенных веществ и жиров. Анализ экспериментальных исследований показывает, что основными факторами, которые влияют на качество очищенной воды, являются: содержание взвешенных веществ и жиров в исходной сточной жидкости, режим перемешивания и время контакта обрабатываемой воды и раствора реагента, интенсивность перемешивания реагента в смесительном устройстве с установленной в нем диафрагмой специальной конструкции [10], а также доза вводимого коагулянта.

При планировании по схеме полного факторного эксперимента (ПФЭ) реализуются все возможные комбинации факторов на всех выбранных для исследования уровнях [5]. ПФЭ позволяет получать количественные оценки основных эффектов и эффектов взаимодействия. Интересующие эффекты определяются с меньшей ошибкой, чем при традиционных методах исследования. Применение ПФЭ значительно повышает эффективность эксперимента.

В рассматриваемой работе эксперимент проводится на двух уровнях с варьированием трех факторов. Поэтому постановка по такому плану называется ПФЭ типа 2^3 . Уровни факторов представляют собой границы исследуемой области по данному параметру.

Таким образом, в качестве основных факторов, которые влияют на эффект удаления взвешенных веществ из сточных вод молокоперерабатывающего предприятия, были выбраны следующие:

- содержание взвешенных веществ в исходной сточной воде молокоперерабатывающего предприятия, C , мг/дм³;
- доза вводимого реагента, D , мг/дм³;
- скорость движения раствора реагента в смесительном устройстве с установленной в нем диафрагмой специальной конструкции, V , м/с.

Экспериментальные исследования проводились в разные времена года с различными показателями качества исходной воды, что было учтено при планировании эксперимента.

Функциональная зависимость эффекта очистки сточных вод от взвешенных веществ имеет вид:

$$\Xi = f(C, D, V) \text{ или } Y = f(X_1, X_2, X_3). \quad (1)$$

Соответственно математическая зависимость для ПФЭ типа 2^3 согласно [5] будет иметь следующий вид:

$$Y = b_0 X_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{123} X_1 X_2 X_3, \quad (2)$$

где $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ – коэффициенты регрессии.

Следует отметить, что степень точности математической модели определяется диапазоном изменения факторов: для каждого i -го фактора устанавливается X_{i0} – основной уровень фактора; $X_{i \max}, X_{i \min}$ – верхний и нижний уровни i -го фактора, которые принимаются во время исследований; ΔX_i – интервал варьирования равный

$$\Delta X_i = \frac{X_{i \max} - X_{i \min}}{2}, \quad i = 1 \dots k. \quad (3)$$

Факторы влияния образуют независимую систему аргументов, варьирование которых на двух уровнях (табл. 1) позволило сформулировать и реализовать матрицы планирования при применении специальной конструкции диафрагмы в смесительном устройстве при очистке сточных вод молокоперерабатывающего предприятия методом напорной флотации. В качестве реагентов был применен коагулянт сульфат алюминия.

Для прогнозирования эффекта удаления взвешенных веществ из сточных вод молокоперерабатывающего предприятия с применением специальной конструкции диафрагмы в смесительном устройстве была проведена серия опытов на сточной воде ОАО «Молочный комбинат «Авида», были определены концентрации взвешенных веществ до и после лабораторной флотационной установки. Результаты эксперимента приведены в табл. 2. Было проведено 8 серий эксперимента, в каждой серии проводилось три параллельных опыта, в качестве реагента применен коагулянт сульфат алюминия.

Воспроизводимость опытов проверялась по критерию Кохрена. Условие $G_p \leq G$ было выполнено, следовательно, опыты можно считать воспроизводимыми.

Таблица 1

Условия планирования эксперимента

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Наименование	Кодовый вид	-1	0	+1	
Коагулянт – сульфат алюминия					
Взвешенные вещества, мг/дм ³ ;	X ₁	1000	1300	1600	300
Доза реагента, мг/дм ³ ;	X ₂	50	75	100	25
Скорость движения потока после диафрагмы, м/с	X ₃	2,5	3,0	3,5	0,5

Таблица 2

Матрица планирования ПФЭ и результаты экспериментов при применении коагулянта сульфата алюминия

Номер опыта	Матрица планирования				Параллельные опыты			Среднее значение параметра, $\bar{E}_{зн}$, %	Оценка дисперсии, S_j^2
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	1	2	3		
1	+1	+1	-1	+1	95,97	98,48	96,48	96,97667	1,760033
2	+1	-1	+1	+1	96,31	95,01	96,75	96,02333	0,818533
3	+1	+1	-1	-1	95,46	95,04	94,35	94,95	0,3141
4	+1	-1	-1	-1	98,34	98,28	96,99	97,87	0,5817
5	+1	+1	+1	+1	95,58	95,86	96,47	95,97	0,2071
6	+1	-1	+1	-1	96,56	98,62	96,28	97,15333	1,632933
7	+1	+1	+1	-1	94,89	94,06	93,11	94,02	0,7933
8	+1	-1	-1	+1	93,14	92,01	91,61	92,25333	0,629633
Σ									6,737333

На основании результатов полного факторного эксперимента рассчитывались коэффициенты регрессии, и тогда уравнение нелинейной регрессии имеет вид:

$$Y = 95,65 - 0,171X_1 + 0,139X_2 - 0,346X_3 - 0,624X_1X_2 + 1,341X_1X_3 + 0,551X_2X_3 \quad (4)$$

Для оценки значимости коэффициентов регрессии определяли оценку дисперсии воспроизводимости, оценку дисперсии среднего результата и погрешность в определении коэффициентов регрессии.

Согласно [5] для полученных доверительной вероятности и степеней свободы определили значение критерия Стьюдента и сделали вывод, что только коэффициенты регрессии b_0 , b_3 , b_5 и b_6 значимы.

Следовательно, искомое уравнение регрессии будет иметь вид:

$$Y = 95,65 - 0,624X_1X_2 + 1,341X_1X_3 + 0,551X_2X_3 \quad (5)$$

Для проверки адекватности данного уравнения регрессии были определены расчетные значения

функции отклика. Затем эти значения сравнивали с результатами эксперимента (рис. 1)

Рассчитали значение критерия Фишера, которое равно 2,968, что не превышает табличного значения [5], равного 3,01.

Следовательно, уравнение регрессии адекватно, то есть полученная функциональная зависимость достоверно описывает исследуемый процесс очистки сточных вод молокоперерабатывающего предприятия методом напорной флотации от взвешенных веществ при применении усовершенствованной конструкции диафрагмы в узле смешения раствора коагулянта сульфата алюминия и на основе формулы (1) имеет вид:

$$\bar{Y} = 95,65 - 0,624 \cdot C \cdot D + 1,341 \cdot C \cdot V + 0,551 \cdot D \cdot V \quad (6)$$

На рис. 1 приведено сопоставление данных об эффекте удаления взвешенных веществ при применении усовершенствованной конструкции диафрагмы в узле смешения коагулянта (сульфата алюминия) опытным путем (экспериментальным) и расчетным (математическая модель).



Рис. 1 – Сопоставление экспериментальных и расчетных данных эффекта удаления взвешенных веществ при применении усовершенствованной конструкции диафрагмы в узле смешения коагулянта (сульфата алюминия)

Выводы. Следовательно, полученная математическая зависимость эффекта удаления взвешенных веществ из сточных вод молокоперерабатывающего предприятия от влияющих факторов при применении усовершенствованной конструкции диафрагмы и коагулянта сульфата алюминия достаточно полно описывает исследуемый процесс.

При проверке адекватности полученных математических зависимостей по отношению к результатам эксперимента можно сделать вывод о высокой степени совпадения данных, полученных экспериментальным и расчетным (математическая модель) путем, а именно: эффективность удаления взвешенных веществ при применении коагулянта сульфата алюминия составляла 92,25 – 97,87 % (экспериментальное значение) и 93,13 – 97,06 % (расчетное значение), что составляет погрешность 0,83 – 0,95 % (допустимая погрешность 5 %).

Литература

1. Компьютерное моделирование простых гидравлических систем [Текст] / Под общей редакцией д-ра техн. наук Т.Н. Гартмана. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2002. – 40 с.
2. Ахназарова С.Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии [Текст] / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М.: Высшая школа. – 1978. – 319 с.
3. Грушко И.М. Основы научных исследований [Текст] / И.М. Грушко, В.М. Сиденко – Харьков: Вища школа, 1983. – 222 с.
4. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений [Текст] / Е.И. Пустыльник – М.: Наука, 1968. – 288 с.

5. Планирование эксперимента в технике [Текст] / В.И. Барабацук, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошниченко; Под ред. Б.П. Креденцера. – К.: Техніка, 1984. – 200 с.
6. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
7. Рулёв Н.Н. Сепарация разбавленных тонкодисперсных водомасляных эмульсий ультрафлокуляцией и флотацией [Текст] / Н.Н. Рулёв, В.Я. Королев, В.А. Зубкова, В.В. Лукьянова. – К.: Химия и технология воды, 2010. – Т.32, №6. – С.632 - 642.
8. Ксенофонтов Б.С. Возможности доочистки сточных вод с использованием комбинированных флотомашии с фильтрующими элементами [Текст] / Б.С. Ксенофонтов, С.Н. Капитонова, А.С. Козодаев и др. // Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 9. – С. 32-37.
9. Ксенофонтов Б.С. Очистка воды и почвы флотацией [Текст] / Б.С. Ксенофонтов. – М.: Новые технологии. – 2004. – 224 с.
10. Патент на полезную модель № 147134 Устройство для коагуляционной обработки сточной жидкости [Текст] / А.А. Шевченко и др. / Федеральная служба по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ) – Патентообладатель ЗАО НПФ «ЭкоТОН». – Заявка 10.07.2014 г. – Опубликовано 26.09.2014 г.

References

1. Computer modeling of simple hydraulic systems [Text] / Under the general edition of the Dr.Sci.Tech. T.N. Gartman. – М.: RHTU of D. I. Mendeleev, 2002. – 40 pages.
2. Akhnazarova S. L. Optimization of experiment in chemistry and chemical technologists [Text] / S. L. Akhnazarova, V. V. Kafarov. – М.: The higher school. – 1978. – 319 pages.

3. Grushko I.M. *Bases of scientific researches [Texts]* / I.M. Grushko, V. M. Sidenko – Kharkov: Vishcha school, 1983. – 222 pages.
4. Pustyl'nik E.I. *Statistical methods of the analysis and processing of supervision [Text]* / E.I. Pustyl'nik – M.: Science, 1968. – 288 pages.
5. *Planning of experiment in equipment [Text]* / V. I. Barabashchuk, B. P. Kredentser, V. I. Miroshnichenko; Under the editorship of B. P. Kredentser. – To.: Tekhn_ka, 1984. – 200 pages.
6. Adler YU.P. *Planning of experiment by search of optimum conditions [Text]* / Yu.P. Adler, E.V. Markova, Yu.V. Granovsky. 2nd prod., reslave. and additional – M.: Science, 1976. – 279 pages.
7. Rulyov N. N. *Separation of the diluted fine water oil emulsions an ultraflokulyation and flotation [Text]* / N. N. Rulyov, V. Ya. Korolev, V.A. Zubkova, V. V. Lukyanova. – To.: Chemistry and technology of water, 2010. – T.32, No. 6. – Page 632 - 642.
8. Ksenofontov B. S. *Possibilities of tertiary treatment of sewage with use combined флотомашин with the filtering elements [Text]* / B. S. Ksenofontov, S. N. Kapitonova, A.S. Kozodayev, etc.//Health and safety. – 2010. – No. 9. – Page 32-37.
9. Ksenofontov B. S. *Water purification and soils flotation [Text]* / B. S. Ksenofontov. – M.: New technologies. – 2004. – 224 pages.
10. *The patent for the useful Device model No. 147134 for coagulative processing of waste liquid [Text]* / A.A. Shevchenko, etc. / Federal Service for Intellectual Property (ROSPATENT) – the Patent holder of JSC NPF EKOTON. – The demand of 10.07.2014 – It is published 26.09.2014.

Рецензент: д-р техн. наук проф. С.С. Душкін, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова.

Автор: ШЕВЧЕНКО Андрій Олександрович
Інженер з науково-технічної інформації
ТОВ «Еко-Інвест»
E-mail:otr@post.com

ПРОГНОЗУВАННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ЗМІШУВАЛЬНОЇ ДІАФРАГМИ

А.О. Шевченко

У статті розглянуто основні фактори, що впливають на ефективність роботи діафрагми спеціальної конструкції в змішувальному пристрої при очищенні стічних вод методом напірної флотації. Наведено результати математичного моделювання ефективності видалення завислих речовин зі стічних вод молокопереробного підприємства.

Ключові слова: математичне моделювання, фактори впливу, повний факторний експеримент, флотаційного установка, змішувальна діафрагма.

PREDICTION OF FACTORS AFFECTING PERFORMANCE MIXING APERTURE

A.A. Shevchenko

In article the major factors influencing overall performance of a diaphragm of a special design in the mixing device at sewage treatment by method of pressure head flotation are considered

The major factors influencing quality of the cleared water such as are defined: the content of the weighed substances and fats in initial waste liquid, the mode of hashing and time of contact of the conditioned water and solution of reagent, intensity of hashing of reagent in the mixing device, and also a dose of the entered coagulant.

Results of mathematical modeling of efficiency of removal of the weighed substances from sewage of the milk-processing enterprise are given.

Mathematical dependence of effect of removal of the weighed substances from sewage of the milk-processing enterprise is received from the influencing factors at application of an advanced design of a diaphragm and coagulant of sulfate of aluminum.

Check of adequacy of the received mathematical dependences in relation to results of experiment is executed showed high extent of coincidence of the data obtained experimental and settlement (mathematical model) in the way

Key words: mathematical modeling, influencing factors, a full factorial experiment, flotation plant, the mixing aperture.