



От частного к общему

Регулирование процессов диспергирования и коалесценции многостадийной флотации сточных вод на основе нечеткой логики

Управление технологическими процессами очистки сточных вод, как правило, осуществляется в условиях информационной неопределенности. Характерные для таких процессов динамические изменения свойств его протекания и условия, в которых необходимо его реализовывать, часто приводят к необходимости корректировки модели управления. Это, прежде всего, обусловлено нелинейными изменениями состава гидрофобных загрязнений, поступающих совместно со сточными водами, значительной динамикой объема поступления и большей долей информационной неопределенности многостадийного процесса очистки. С учетом современных требований эксплуатации данные технологические особенности приводят к недостаточно эффективной работе традиционных систем управления, которым не всегда удается уследить за динамикой процесса при недостатке информации о ходе его протекания. Одним из таких технологических процессов очистки сточных вод является многостадийная флотация для различных видов гидрофобных загрязнений с учетом явлений диспергирования пузырьков воздуха и коалесценции флотокомплексов под влиянием вибрационного воздействия.

Впервые модификацию технологического процесса флотационной очистки сточных вод с созданием виброфлотомашин с диспергированием в корпусе аппарата осуществили на кафедре «Экологии и промышленной безопасности» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Данный технологический процесс виброфлотации гидрофобных загрязнений имеет значительные технико-экономические преимущества перед пневматической, механической, напорной и электрофлотацией, приведенные авторами в своих научных работах [1-2]. При этом стоит отметить основные показатели времени виброфлотации - 10-15 мин., что в 1,5-2 раза меньше сравниваемых методов флотационной очистки, а также показатели остаточной концентрации в 1-2 мг/л. Сама виброфлотомашина состоит из двух камер и блока тонкостенного осветления, активными с точки зрения управления очистки сточной воды являются флотационная камера диспергирования и коалесценции, где размещены исполнительные элементы вибростендов и аэраторы.

Нечеткое регулирование режимов работы технологического оборудования основано на современных интеллектуальных методах управления, построенных на одном из поразительных свойств человека - способности принимать правильные решения в обстановке неполной и нечеткой информации. Рассматриваемый нечеткий регулятор для многостадийного технологического процесса флотации сточных вод способен повысить интенсификацию процесса очистки, улучшить технико-экономические показатели работы виброфлотомашин, повысить качество и сократить время очистки воды.

Сегодня при решении вопросов оптимального регулирования сложными технологическими процессами широко применяются интеллектуальные методы управления на основе нейроинформатики и нечеткой логики. Математическая теория нечетких множеств позволяет описывать нечеткие понятия и знания, оперировать этими знаниями и делать нечеткие выводы, в свою очередь нейронные сети являются достаточно мощным и наилучшим методом для решения задач распознавания образов в ситуациях, когда в текущих данных отсутствуют значительные фрагменты информации, а имеющаяся информация предельно зашумлена. Необходимо также отметить, что современные интеллектуальные методы управления построены на способности принимать правильные решения в обстановке неполной и нечеткой информации [3].

Применение теории нечетких множеств в управлении основными исполнительными механизмами виброфлотомашин обусловлено, прежде всего, технологическими особенностями многостадийного процесса

очистки сточных вод, неравномерной загрузке флотационной машины и концентрации поступающих загрязненных стоков, невозможности быстрого подбора и поддержания заданного эксплуатационного режима не только по объему аэрации, но и частоте, а также уровню вибровоздействия на процессы диспергирования и коалесценции сточных вод.

Для полноты определения информационных связей технологического процесса была составлена информационная структура, приведенная на рис. 1, обобщенной модели очистки сточных вод от гидрофобных загрязнений в виброфлотомашине.

Из анализа данной макроструктуры можно выделить следующие статические зависимости, а также динамические характеристики технологического процесса виброфлотации [4]:

$$y = f(x; z), k = f(x), \quad (1)$$

$$y(t) = f[x(t); z(t)], \quad (2)$$

Математическая модель виброфлотации для каждой стадии описывается следующими дифференциальными уравнениями [2]:

■ Рис. 1. Расходящаяся макроструктура процесса виброфлотации

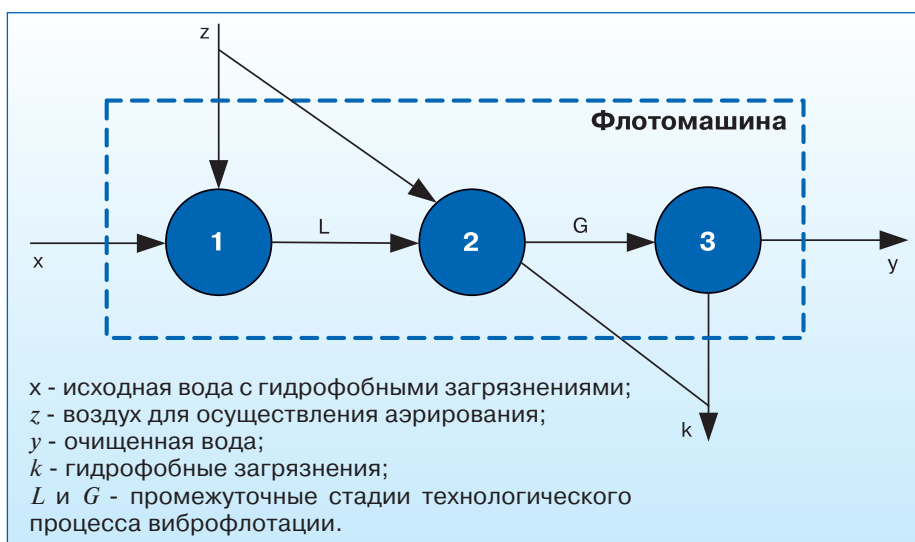




Рис. 2. Структурная схема модели системы управления вибровоздействием с нечетким и аналоговым регулятором

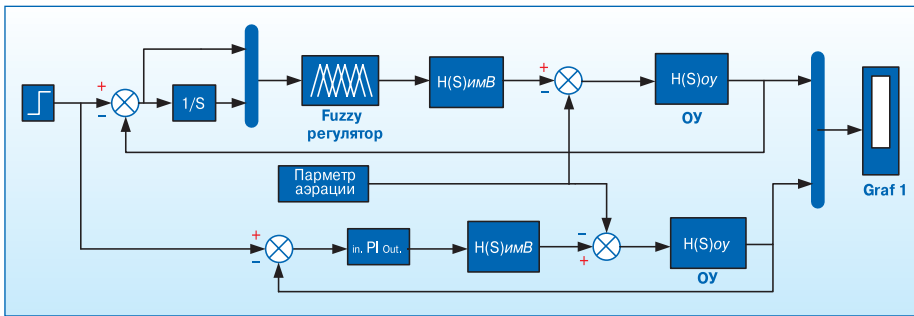
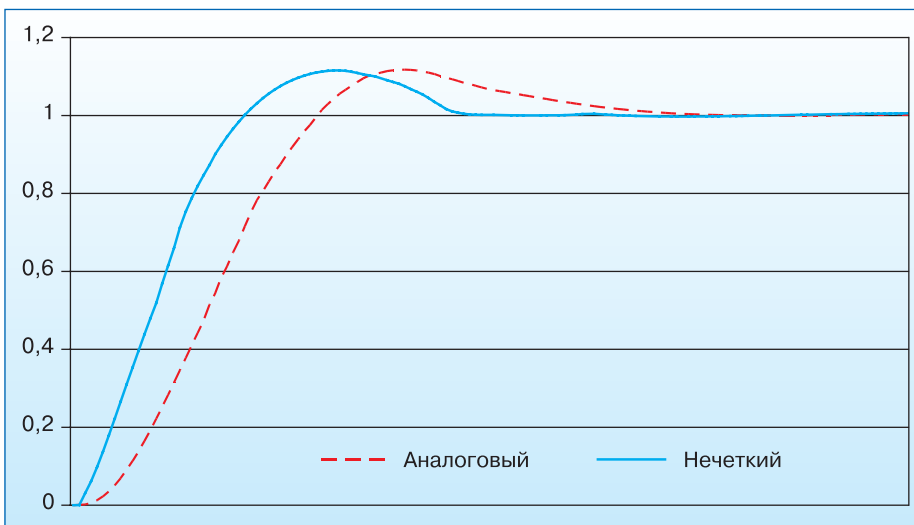


Рис. 3. Реакция аналогового и нечеткого регулятора на ступенчатое воздействие



$$\frac{dC_A}{dt} = -(K_1 + K_2 + K_{10})C_A + K_3C_B C_C + K_4 + K_5 C_D, \quad (3)$$

$$\frac{dC_B}{dt} = K_1 C_A - (K_2 + K_3) C_B + K_6 C_D, \quad (4)$$

$$\frac{dC_C}{dt} = K_3 C_A - (K_4 + K_7) C_C + K_8 C_D, \quad (5)$$

$$\frac{dC_D}{dt} = \frac{K_{10} C_A + K_5 C_B + K_7 C_C}{(K_6 + K_8 + K_9) C_D}, \quad (6)$$

где K_i - константы переходов из одного состояния в другое; C_i - стадии флотации (концентрация частиц в состоянии A, B, C, D).

Тогда с учетом вышеописанной модели и макроструктуры процесса виброфлотации общая математическая задача оптимизации эффективности захвата частиц всплывающими пузырьками газа, которую должна решать система управления, будет следующей [4]:

$$E = K_n D k_0 / 1,5 q \Rightarrow \max, \quad (7)$$

где q - скорость барботирования; D - средний диаметр пузырьков; k_0 - фактор полидисперсности пузырьков; $K_n = K_1 = K_3$ - константы характеризуют способы флотации.

Исходя из поставленной задачи оптимизации эффективности захвата частиц, наиболее приемлемым будет принятие модели управления скоростью барботирования для формирования управляющего воздей-

ствия на вибростенды и объем аэрации по каналу регулирования вибровоздействия флотомашин. Основной исходной информацией для формирования лингвистических правил нечеткого регулирования являются сигналы о качестве очищенных стоков, входные данные по исходной воде и количеству подаваемого воздуха на аэраторы, включая количество задействованных аэраторов и др. При этом для системы создается перечень статической информации о конструктивных особенностях виброфлотомашин (например, общее количество аэраторов, их тип, конструктивные особенности активных камер и др.). Вместе с тем важное значение в оценке эффективности флотационного процесса имеет определение размера пузырьков воздуха, которые участвуют в образовании флотокомплексов и обеспечения их всплытия в пенный слой [2], скорость барботирования, значение частоты вибрации и ее ускорение.

Формирование лингвистических правил для технологического процесса осуществляется по алгоритму «если... и..., то...», при этом в определенной конструкции флотомашин также необходимо учитывать неоднородность скорости барботирования сточных вод внутри камер за счет ее геометрических особеннос-

тей. Созданная таким образом матрица нечетких множеств определяет взаимосвязь между входной и выходной информацией с выработкой алгоритма, учитывающего нечеткую информацию и условия информационной неопределенности о протекании технологического процесса диспергирования и коалесценции сточных вод сточных вод в флотомашине.

Структурная схема модели нечеткого регулятора и аналогового ПИ регулятора, построенная в комплексе MatLab, приведена на рис. 2.

На рис. 3 приведена реакция математической модели на единичное ступенчатое воздействие. Результаты данного моделирования показывают более быструю реакцию нечеткого регулятора на единичное ступенчатое воздействие, при этом качество регулирования значительно отличается от типового аналогового регулятора.

В результате рассмотренный частный случай построения нечеткого регулятора для управления процессами диспергирования и коалесценции способом воздействия на аэрацию и вибрацию позволяет создать эффективную систему управления очистки сточных вод в виброфлотомашине. При этом улучшатся динамические характеристики технологического процесса очистки воды от гидрофобных загрязнений, а система управления получает такие основополагающие свойства, как быстрое действие и качество регулирования по каналам обратной связи.

Алексей Битюцкий,
руководитель научного направления;
Рустам Валиев,
первый вице-президент.
АО «Казахский Водоканалпроект»
(г. Алматы, Республика Казахстан)

Литература

1. Ксенофонтов Б.С. Интенсификация флотационной очистки в оборотных системах водопользования с использованием вибровоздействий/ Б.С. Ксенофонтов, М.В. Иванов// Наука и Образование - 2012 - № 2 - С. 1-26.
2. Иванов М.В. Виброфлотационная очистка сточных вод как способ уменьшения экологического ущерба окружающей среде. автореф. дис. на соиск. к-та техн. наук / М. В. Иванов. - М., 2012. - 23 с.
3. Ежов А.А. Чететкин В.Н. Нейронные сети в медицине/ А.А. Ежов, В.Н. Чететкин// Открытые системы. -2007 - №4. - С.34-37.
4. Валиев Р.М. Оптимизация и управление вибровоздействием на процессы диспергирования и коалесценции в многостадийной флотации сточных вод с помощью адаптивной нейро-нечеткой системы/ Валиев Р.М. Битюцкий А.С.// Сбор. тр. 5-й Восточно-Европейской конференции Опыт и молодость в решении водных проблем. - 2013. С. 200-205.