

Эксперимент проводили в упрощенной модели биореактора периодического действия. В начале исследований в стеклянные емкости одинакового объема загружали активный сульфатный ил, содержащий накопительную культуру СВБ. Были опробованы шесть типов носителей, обладающих химической и биологической стойкостью, механической прочностью, устойчивостью, но различающихся по форме исполнения, физико-химическому составу и структуре: загрузка типа «ерш» (гирлянды из лавсанового полотна, вплетенного в витой проволочный сердечник), активированный уголь БАУ-А (ГОСТ 6217-74), полиэтиленовые кольца (производство Германия), силикагель технический (ГОСТ 3956-76 изм. № 2), керамзит средней фракции (ГОСТ 9757-90), цеолит NaX марка А (ТУ 38.10281-88).

Приготовленную высококонцентрированную суспензию с концентрацией биомассы $C_{\text{биом}} = 2,648$ г/л вводили в контакт с инертными материалами, чтобы произошла иммобилизация.

Иммобилизацию СВБ проводили в различных режимах – статическом, динамическом и с перемешиванием. Процесс проводили в анаэробных условиях при температуре 22-25 °С.

Установлено, что процесс адсорбции СВБ на цеолите и силикагеле ослаблял жизнеспособность клеток, не наблюдалось конверсии сульфатов и ХПК, а также прироста биомассы. Активированный уголь также полностью ингибировал процесс сульфатредукции.

Установлено, что наилучшим из использованных носителей оказались полиэтиленовые кольца (производства Германии). При использовании иммобилизованного на них консорциума СВБ выход биогенного сероводорода возрастает в среднем на 15% по сравнению с применением этого консорциума без иммобилизации.

Работа представлена на Общероссийскую научную конференцию «Новые технологии, инновации, изобретения», Иркутск, 5-7 июля 2010 г. Поступила в редакцию 11.05.2010.

Физико-математические науки

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПАРАМЕТРОВ И ОГРАНИЧЕНИЙ ВО ВРЕМЯ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

П.Г. Яковенко

*Томский политехнический
университет
Томск, Россия*

Оптимизация по быстрдействию переходных процессов в линейных и нелинейных системах позволяет получить значительный экономический эффект. Исторически первым способом формирования требований к качеству

процессов явился способ, основанный на знании предельных значений первичных показателей качества, характеризующих кривую переходного процесса. Этот способ во многом соответствует интуитивным представлениям о сущности задачи регулирования, но его применение может быть затруднено сложной зависимостью показателей качества от параметров системы, ограничений и начальных условий.

Моделирование переходных процессов в инерционных системах набором обыкновенных дифференциальных уравнений не вызывает затруднений. Оно дает возможность воспроиз-

водить с высокой точностью переходные процессы с учетом специфики функционирования системы при различных управляющих воздействиях, контролировать изменение координат, учитывать изменение заданий, параметров и ограничений. Для совершенствования алгоритмического обеспечения микропроцессорных систем управления переходными процессами следует использовать новые средства прикладной математики.

Предложена методика последовательного многошагового синтеза оптимальных по быстродействию управлений линейными и нелинейными системами с ограничением координат, основанная на многократном численном решении обыкновенных дифференциальных уравнений. Оптимальный закон составляется из управлений, найденных во время переходного процесса для малых интервалов времени. Поиск управлений ведется последовательно по шагам с учетом нелинейностей, ограничений и координат системы, полученных при оптимальном управлении на предыдущих шагах. Методика предполагает использование методов динамического программирования и имитационного моделирования, принципов «перемены цели» и «ведущего слабого звена». На модели выполняется целенаправленный поиск оптимального управления для очередного шага с учетом прогноза будущего состояния системы.

Рассмотрим пример синтеза оптимального по быстродействию управления инерционной системой, состоящей из двух последовательно включенных элементов, в которой во время переходного процесса возможно изменение заданий, ограничений и параметров.

Управляющее воздействие U действует на вход первого элемента, описываемого дифференциальным уравнением

$$K_1 \cdot U = T_1 \cdot \frac{dX_2}{dt} + X_2,$$

где K_1 и T_1 - коэффициент передачи и постоянная времени первого элемента; X_2 - выходная координата первого элемента; t - время.

Выходная координата первого элемента является входной координатой для второго элемента, описываемого дифференциальным уравнением

$$K_2 \cdot X_2 = T_2 \cdot \frac{dX_1}{dt} + X_1,$$

где K_2 и T_2 - коэффициент передачи и постоянная времени второго элемента; X_1 - выходная координата второго элемента.

Максимальные значения управляющего воздействия U и выходной координаты первого элемента X_2 не должны превышать соответственно значений U_m и X_{2m} . Эти ограничения, задание по координате X_{21} , параметры инерционной системы K_1 и T_1 , K_2 и T_2 могут изменяться в момент времени T_3 в течение переходного процесса.

Определим оптимальное управление $U(t)$, обеспечивающее минимальное время перевода системы из исходного состояния с реальными координатами X_{1i} и X_{2i} в за-

данное состояние с координатами $X_1 = X_{z1}$ и $X_2 = X_{z1}/K_2$ с учетом ограничений U_m и X_{2m} . Решение задачи с помощью предложенной методики предполагает, что речь идет о системе с квантованием координат по уровню и по времени. При этом инерционная система описывается разностными уравнениями

$$T_1 \cdot \frac{\Delta X_2}{\Delta t} = K_1 \cdot U - X_2,$$

$$T_2 \cdot \frac{\Delta X_1}{\Delta t} = K_2 \cdot X_2 - X_1,$$

где ΔX_1 и ΔX_2 - приращения координат системы за шаг интегрирования Δt .

Управление $U(t)$ инерционной системой вычисляется по шагам в виде значений U_0, U_1, \dots, U_c .

Синтез закона управления начинается с расчета времени

$$T = T + \Delta t$$

на очередном шаге и сравнении его с T_3 .

Ограничения U_m и X_{2m} , задание по координате X_1 , параметры инерционной системы K_1 и T_1 , K_2 и T_2 могут принимать новые значения когда T превысит T_3 .

Определение управления на очередном шаге предполагает расчет требуемого приращения выходной координаты второго элемента ΔX_{1p1}

$$\Delta X_{1p1} = X_{z1} - X_{li}.$$

По разностному уравнению определяется значение выходной координаты первого элемента X_{2p1} , способное обеспечить такое приращение ΔX_{1p1}

$$X_{2p1} = (T_2 \cdot \frac{\Delta X_{1p1}}{\Delta t} + X_{li}) \cdot \frac{1}{K_2}.$$

Полученное значение выходной координаты первого элемента X_{2p1} при необходимости ограничивается значением X_{2m} с соответствующим знаком. Затем вычисляется требуемое приращение выходной координаты первого элемента ΔX_{2p1} на шаге

$$\Delta X_{2p1} = X_{2p1} - X_{2i}.$$

По разностному уравнению определяется управление на первом пробном шаге U_{p1} , способное обеспечить такое приращение ΔX_{2p1} на шаге

$$U_{p1} = (T_1 \cdot \frac{\Delta X_{2p1}}{\Delta t} + X_{2i}) \cdot \frac{1}{K_1}.$$

Полученное значение управления U_{p1} при необходимости ограничивается значением U_m с соответствующим знаком. Чтобы обеспечить соблюдение ограничения по координате X_1 выполняется расчет первого пробного шага. Последовательно вычисляются с найденным управлением U_{p1} новые приращение выходной координаты первого элемента ΔX_{2p1} , значение выходной координаты первого элемента X_{2p1} , приращение выходной координаты второго элемента ΔX_{1p1} и зна-

чение выходной координаты второго элемента X_{1p1}

$$\Delta X_{2p1} = (K_1 \cdot U_{p1} - X_{2i}) \cdot \frac{\Delta t}{T_1},$$

$$X_{2p1} = X_{2i} + \Delta X_{2p1},$$

$$\Delta X_{1p1} = (K_2 \cdot X_{2p1} - X_{1i}) \cdot \frac{\Delta t}{T_2},$$

$$X_{1p1} = X_{1i} + \Delta X_{1p1}.$$

Полученные значения координат позволяют задать начальные условия для второго пробного шага при переводе системы в равновесное состояние

$$X_{1p2} = X_{1p1},$$

$$X_{2p2} = X_{2p1}.$$

Расчет управления для второго пробного шага начинается с определения по разностному уравнению требуемого приращения выходной координаты первого элемента ΔX_{2p2}

$$\Delta X_{2p2} = (X_{1p2} - K_2 \cdot X_{2p2}) \cdot \frac{1}{K_2}.$$

Если модуль суммы значений X_{2p2} и ΔX_{2p2} не превышает X_{2m} , то значение ΔX_{2p2} остается неизменным. В противном случае определяется величина $\Delta \Delta$ превышения этой суммой значения X_{2m}

$$\Delta \Delta = |X_{2p2} + \Delta X_{2p2}| - X_{2m}.$$

Если сумма значений X_{2p2} и ΔX_{2p2} окажется больше нуля, то значение ΔX_{2p2} определяется по выражению

$$\Delta X_{2p2} = \Delta X_{2p2} - \Delta \Delta.$$

В противном случае значение ΔX_{2p2} определяется по выражению

$$\Delta X_{2p2} = \Delta X_{2p2} + \Delta \Delta.$$

По разностному уравнению определяется управление U_{p2} на втором пробном шаге, способное обеспечить такое приращение ΔX_{2p2} на шаге

$$U_{p2} = (T_1 \cdot \frac{\Delta X_{2p2}}{\Delta t} + X_{2p2}) \cdot \frac{1}{K_1}.$$

Полученное значение управления U_{p2} при необходимости ограничивается значением U_m с соответствующим знаком. С найденным управлением U_{p2} выполняется расчет второго пробного шага. Последовательно вычисляются новое приращение выходной координаты первого элемента ΔX_{2p2} , значение выходной координаты первого элемента X_{2p2} , приращение выходной координаты второго элемента ΔX_{1p2} и значение выходной координаты второго элемента X_{1p2}

$$\Delta X_{2p2} = (K_1 \cdot U_{p2} - X_{2p2}) \cdot \frac{\Delta t}{T_1},$$

$$X_{2p2} = X_{2p2} + \Delta X_{2p2},$$

$$\Delta X_{1p2} = (K_2 \cdot X_{2p2} - X_{1p2}) \cdot \frac{\Delta t}{T_2},$$

$$X_{1p2} = X_{1p2} + \Delta X_{1p2}.$$

Проводится проверка, находится система в равновесном состоянии или нет. Для этого оценивается значение ΔX_{1p2} . Если модуль

ΔX_{1p2} окажется больше нуля, то выполняется расчет по ранее описанной методике следующего второго пробного шага. Расчеты вторых пробных шагов по такому циклу каждый раз с новыми начальными условиями, полученными в результате выполнения предыдущего второго пробного шага, продолжают до тех пор, пока модуль ΔX_{1p2} не станет равным нулю и система не будет переведена в равновесное состояние.

После этого контролируется выполнение ограничения по координате X_1 . Если значение X_{1p2} превышает значение X_{z1} , то найденное на первом пробном шаге управление U_{p1} не является оптимальным для очередного шага. Следует вычислить приращение ΔX_2 по координате X_2 за шаг, исходя из условия нахождения системы в состоянии равновесия, и определить обеспечивающее его управление U , которое при необходимости ограничивается значением U_m с соответствующим знаком

$$\Delta X_2 = \frac{\Delta X_{z1}}{K_2} - X_{2i},$$

$$U = (T_1 \cdot \frac{\Delta X_2}{\Delta t} + X_{2i}) \cdot \frac{1}{K_1}.$$

Управление U считается оптимальным и используется в дальнейшем в качестве управляющего воздействия U_i при расчете реальных координат системы X_{1i} и X_{2i} на шаге.

Если после контроля выполнения ограничения по выходной координате X_1 значение X_{1p2} не превышает значение X_{z1} , то ранее найденное на первом пробном шаге управление U_{p1} считается оптимальным для очередного шага и используется в дальнейшем в качестве управляющего воздействия U_i при расчете реальных координат системы X_{1i} и X_{2i} на очередном шаге.

Выполняется расчет координат системы после выполнения реального шага. Последовательно вычисляются по разностным уравнениям от входа к выходу системы с найденным управлением U_i новое приращение выходной координаты первого элемента ΔX_{2i} , значение выходной координаты первого элемента X_{2i} , приращение выходной координаты второго элемента ΔX_{1i} , значение выходной координаты второго элемента X_{1i}

$$\Delta X_{2i} = (K_1 \cdot U_i - X_{2i}) \cdot \frac{\Delta t}{T_1},$$

$$X_{2i} = X_{2i} + \Delta X_{2i},$$

$$\Delta X_{1i} = (K_2 \cdot X_{2i} - X_{1i}) \cdot \frac{\Delta t}{T_2},$$

$$X_{1i} = X_{1i} + \Delta X_{1i}.$$

Затем происходит возврат в начало алгоритма для расчета оптимального управления на следующем шаге с начальными условиями, полученными в результате выполнения предыдущего реального шага. Таким способом последовательно составляется оптимальный по быстродействию закон с учетом принятых ог-

раничений из управлений U_i , найденных во время переходного процесса для малых интервалов времени.

Испытания алгоритма показали его высокую эффективность при изменениях во время переходного процесса задания X_{z1} , ограничений U_m и X_{2m} , параметров системы K_1 и T_1 , K_2 и T_2 . Во всех случаях синтезировался закон управления инерционной системой при строгом выполнении принятых ограничений. Нарушение ограничений по предложенному алгоритму возможно только в случае, если для выполнения нового задания во

время переходного процесса не хватает динамических возможностей системы.

Разработанный алгоритм позволяет оптимизировать управление переходными процессами при наличии математического описания системы в виде обыкновенных дифференциальных уравнений. Возможен синтез микропроцессорными средствами в реальном масштабе времени оптимальных управлений и нелинейными системами с ограничениями координат.

Работа представлена на Международную научную конференцию «Современные наукоемкие технологии», Египет, 22-29 февраля 2010 г.

Экологические технологии

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА – «ПОРИСТОЙ ИСКУССТВЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ» («ВИНИЗОЛ») В ИРКУТСКОМ РЕГИОНЕ

**Е.О. Костюкова¹, Е.В. Зелинская¹,
В.В. Барактенко¹, Ф.А. Шутов²**

¹ГОУ ВПО Иркутский
государственный технический
университет, Иркутск, Россия
²F&D Innovative Composites Inc.,
Los Angeles, USA

Введение

Одно из важнейших направлений, определяющих развитие всех отраслей промышленности, в том числе и строительной индустрии – это новые высокоэффективные, экологически чистые и относительно дешевые материалы.

Необходимо признать, что на начало 2010 г. экологическая ситуация во всех промышлен-

ных регионах России остается напряженной. Основная нерешенная проблема – хранение огромного количества отходов на территории предприятий России. Так, широкое применение полимерного сырья в различных отраслях хозяйства – причина накопления большого количества отходов полимерных материалов, представляющих угрозу экологии [1].

Наибольший объем крупнотоннажных отходов накоплен в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК). В Иркутской области за годы работы энергосистемы на золоотвалах накоплено около 80 млн. тонн золошлаков, занимая площадь около 2000 га [2].

Поэтому нами впервые разработана технология производства инновационного строительного материала – «Пористая Искусственная Древесина» (ПИД) – «Винизол», базирующаяся на совместной утилизации двух