

УДК 37 66.011, 621.928.44

**Д. А. Гринюк, М.Л. Бажко, Н.М. Олиферович,**  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск, Республика Беларусь  
**Ф.Ф. Хакназаров,**  
НГГТУ,  
г. Навои, Республика Узбекистан

## **ПОДХОДЫ К АВТОМАТИЗАЦИИ И ИДЕНТИФИКАЦИИ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ СГУСТИТЕЛЕЙ**

***Аннотация.** Для эффективного управления необходимы знания о динамике каналов управления. Предлагаемые в литературе модели имеют нелинейный характер и затруднены в использовании. В тоже время, построение систем на основе идентификации динамики представляются самым рациональным решением*

**D. Hryniuk, M. Bazhko, N. Aliferovich**  
Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus  
**Firdavs Haqnazarov**  
NGGTU  
Navoi, Republic of Uzbekistan

## **APPROACHES TO AUTOMATION AND IDENTIFICATION OF CONTROL CHANNELS OF THICKENERS**

***Abstract.** Effective control requires knowledge of the dynamics of control channels. Models proposed in the literature are nonlinear and difficult to use. At the same time, building systems based on the identification of dynamics seems to be the most rational solution*

Сгустители используются в различных отраслях промышленности и системах водоподготовки для разделения суспензий на твердую и жидкую фазу. Построение систем управления данных объектов сопряжено с некоторыми трудностями. Это обусловлено высокой нелинейностью процессов. По этой причине сгустители работают часто в неудовлетворительных условиях, с неоптимальными дозами коагулянтов и/или флокулянта и неэффективным разделением.

Весьма широко использование для управления сгустителей экспертных систем. Особенно это характерно при концентрации природных сред с высокой вариацией состава. Примеры их

использования показывают существенное улучшение качества работы аппаратов по сравнению с ручным управлением. Однако экспертные системы сложны в реализации, устранении неполадок и настройке [3].

При сгущении сред с малой вариацией химического состава пульпы весьма эффективно применение систем стабилизации физических потоков поступающих на обработку и управление обработкой по выходной плотности концентрированной среды [1]. Здесь могут применяться различные классические приемы теории управления с использованием инвариантных и каскадных систем управления [2], так и нечеткие и нейронные системы [4]. Но все же в большинстве источников отмечается для эффективного управления необходимо знание динамической модели каналов управления [2].

Из-за высокого стохастического характера динамики объекта управления рациональным представляется использование систем, которые будут заниматься непрерывным или периодическим процессом идентификации каналов управления. В литературе широко представлены различные варианты применения с внедрением систем управления по модели, фильтров Калмана и контроллеров с предсказательным моделированием (MPC).

Идентификация процесса — это область построения модели процесса на основе входных и выходных данных. Для обеспечения информативности этих данных обычно используются запланированные эксперименты на реальном процессе. Однако идентификация системы, основанная на испытаниях на реальном процессе, требует много времени, особенно в случае медленных процессов, и в некоторых случаях может быть невозможна.

Сгустители относятся к достаточно медленным процессам. Например, процесс первичной идентификации системы на основе исторических данных занял 649 дней [2]. Набор параметров входных, выходных и возмущения может быть различным. Но, как правило, обязательно является плотность пульпы на выходе из сгустителя  $D_{sout}$ , возможно, граница  $L$  раздела фаз в самом сгустителе. В качестве выходных параметров выступают расход пульпы на входе  $F_{sin}$ , расход циркуляционного потока  $F_{scir}$ , расход пульпы на выходе  $F_{sout}$  и расход флокулянта  $F_{floc}$ . Сильными возмущениями являются плотность пульпы на входе  $D_{sin}$  (рис. 1), температура  $T$ ,  $pH$ .

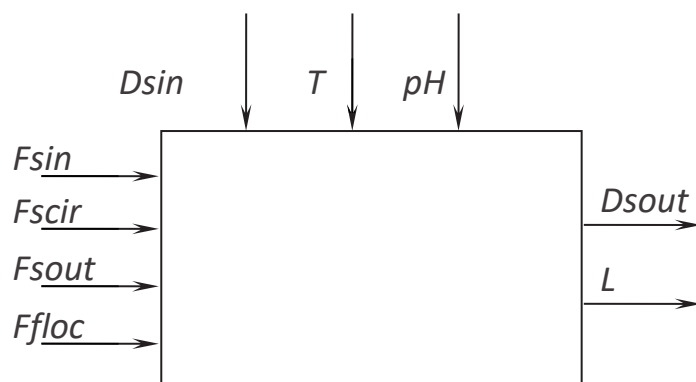


Рис. 1. Информационные каналы

Иногда к выше указанным параметрам добавляют еще мутность, крутящий момент граблин и давление конуса и т.д., которые напрямую или косвенно характеризуют протекающие процессы в технологическом объекте.

Математические модели иногда строят на теоретических предпосылках физических процессов в сгустителях. Наиболее часто для моделирования работы сгустителей используют результаты работы Кинча [5], в которой представлена структура для моделирования скорости осаждения частиц как функции объемной доли  $\phi$ . Подход делает допущение об одномерное осаждение в покоящейся среде, где скорость осаждения зависит от локальной концентрации суспензии. Как показано в уравнении (1), представляет собой локальную концентрацию, которая изменяется как функция координаты  $x$  и времени  $t$ , тогда как  $f_{bk}$  – это функция плотности потока партии Кинча, учитывающая влияние концентрации частиц и скорости осаждения.

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial f_{bk}(\phi)}{\partial x} = 0. \quad (1)$$

Дальнейшие работы Диля, в которых для моделирования непрерывной подачи суспензии в сгуститель был введен нелинейный скалярный закон сохранения, эффективно расширяющий теорию седиментации Кинча для учета непрерывной работы. Уравнение (2) суммирует закон сохранения, где  $\delta$  – это мера Дирака, а функция потока  $F(u, x)$  разрывна в точках подачи или выхода в  $x$ . На основании этого подхода можно получить профиль концентрации по высоте сгустителя..

$$\frac{\partial \phi(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial (F(\phi(x, t), x))}{\partial x} = s(t)\delta(x). \quad (2)$$

В работе Бюргера и Кончи была расширена модель седиментации для учета флуктуации суспензий, ведены определения затрудненного осаждения, сжимаемости осадочного слоя и геометрии сгустителя.

Модель формулируется как нелинейное уравнение в частных производных

$$\frac{\partial(S(x)\phi)}{\partial t} + \frac{\partial(Q_D(t)\phi + S(x)f_{bk}(\phi))}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial t} \left( S(x) \frac{\partial A(\phi)}{\partial x} \right). \quad (3)$$

где  $S(x)$  – это фактор пространственного изменения, учитывающий загустители с различной геометрией (например, конические загустители);  $Q_D(t)$  – объемный расход нагнетания;  $A(\phi)$  – нелинейная функцию коэффициента диффузии, которая учитывает общее взаимодействие частиц под давлением, эффекты сжатия частиц и затрудненного осаждения в слое осадка.

Использование  $A(\phi)$  в уравнении (3), что позволяет более точно отобразить динамику седиментации в сгустителях с различной геометрией. С помощью последнего уравнения можно учесть влияние процесса флокуляции на процесс осаждения. Хотя существуют схемы данного уравнения в частных производных, однако использование в системах контроля в таком виде затруднительно.

В некоторых случаях, по высоте сгустителя можно выделить искусственные зоны с постоянной концентрацией и преобразовать уравнение в частных производных к обычным. Тогда описание может быть легко сведено к последовательному соединению звеньев, которые будут отражать динамику каждой зоны. В первом приближении можно будет использовать апериодические звенья первого порядка.

Однако стратегия управления чаще всего строится на непрерывном измерении входных переменных и сигналов возмущения с целью идентификации каналов управления. Работы в основном отличаются длиной вектора переменных и выбранным механизмом идентификации.

Несмотря на то что прорывные достижения в теории седиментации позволили разработать более сложные модели и методы контроля загустителей, вычислительные затраты и сложность этих моделей остаются значительными проблемами по нескольким причинам. Во-первых, процесс сгущения характеризуется высокой нелинейностью и значительными задержками в реакциях на управление, что затрудняет поддержание стабильного контроля концентрации конечного продукта, даже при использовании модельных стратегий управления. Во-вторых, общепринятые модели непрерывной седиментации остаются крайне сложными. Условия потока часто рассматриваются как кусочно-дифференцируемые, в то время как выражения скорости осаждения являются нелинейными функциями концентрации и зачастую моделируются с помощью эмпирических соотношений. Модели, учитывающие эффекты

сжимаемости осадка, требуют дополнительных определяющих соотношений, что приводит к появлению параболических уравнений в частных производных более высокого порядка и увеличивает вычислительную сложность. Наконец, вычислительные затраты возрастают из-за необходимости использования более мелких сеток для пространственной дискретизации. Все эти факторы способствуют увеличению сложности и требований к устойчивости и сходимости численного решения, что обычно требует применения итерационных алгоритмов для решения дифференциальных уравнений.

По этой причине построение систем автоматизации на основе анализа текущих данных доминируют. А далее система управления строится с использованием уже традиционных МРС схем, инвариантных схем, рекуррентных нейронных сетей.

Подходы, основанные на данных, продемонстрировали многообещающие результаты; однако сложные архитектуры, такие как нейронные сети, обычно требуют значительных объемов операционных данных для точного захвата динамики процесса седиментации. Это может быть проблемой, когда данные скудны, низкого качества или не отражают желаемые эксплуатационные условия сгустителя.

Весьма перспективным является обработка данных с учетом физики процесса [5]. В данном исследовании для управления процессом обучения в целевых системах с ограниченным доступом к данным используется метод переноса обучения с учётом физики. Этот подход использует обширные данные, полученные от аналогично спроектированного сгустителя, работающего в более широком диапазоне условий, для улучшения управления целевой системой.

### **Список использованных источников**

1. Bergh L., Ojeda P., Torres L. Expert Control Tuning of an Industrial Thickener // IFAC-PapersOnLine, vol. 48, no. 17, pp. 86–91, Jan. 2015.
2. Oulhiq R., Benjelloun K., Kali Y. Saad M. Identification and Control of an Industrial Thickener Using Historical Data // 2021 18th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), Monastir, Tunisia, 2021, pp. 915-920, doi: 10.1109/SSD52085.2021.9429523.
3. Гринюк Д. А., Олиферович Н. М., Сухорукова И. Г., Оробей И. О. Повышение эффективности функционирования систем управления процессами водоподготовки // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2024. № 2 (284). С. 70–79.

4. Chai T., Jia Y., Li H., Wang H. An intelligent switching control for a mixed separation thickener process // Control Engineering Practice, Volume 57, 2016, Pages 61-71, <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2016.07.007>.

5. Munoz A., Hedengren S., Hedengren J. D. Transfer Learning for Thickener Control // Processes, 2025, 13, № 1: p. 223. <https://doi.org/10.3390/pr13010223>

УДК 614.84

**М.В. Остапова**

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,  
Санкт-Петербург, Россия

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА.**

***Аннотация.** В статье рассматривается возможность применения беспилотных воздушных судов для тушения пожаров на объектах нефтегазового комплекса. Обоснована необходимость внедрения в структуру противопожарной защиты и предложен вариант их использования для обеспечения оперативной подачи огнетушащего состава на высотные установки.*

**M. Ostapova**

St. Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia,  
St. Petersburg, Russia

## **INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN FIRE SUPPRESSION AT OIL AND GAS FACILITIES**

***Abstract.** The article examines the potential use of unmanned aerial vehicles for firefighting at oil and gas industry facilities. The necessity of integrating these aviation systems into the firefighting protection structure is justified, and an option for their application to ensure rapid delivery of extinguishing agents to high-rise technological installations is proposed.*

Пожары на объектах нефтегазового комплекса представляют собой один из наиболее опасных видов чрезвычайных ситуаций вследствие высокой тепловой мощности горения, сложности архитектурных решений технологических установок и риска