

Проведённые расчёты показывают, что часть очищенной воды, производимой станцией аэрации, может эффективно использоваться для полива сельскохозяйственных культур, в частности кукурузы. При средней производительности станции в 169 тыс. м³/сутки и возможности направлять на оросительные нужды около 30 % очищенного объёма, для сельского хозяйства можно выделять примерно 50–55 тыс. м³ воды в сутки. С учётом средней потребности кукурузы в воде — 5–6 тыс. м³/га за вегетационный период, этот объём способен обеспечить орошение около 8–9 тыс. гектаров посевов. При урожайности 8–9 т/га и средней рыночной цене 75 000–80 000 тенге за тонну, экономический эффект может составить порядка 4,8–5,5 млрд тенге за сезон. Кроме того, применение очищенных сточных вод позволяет снизить затраты на забор пресной воды и экологические платежи, что даёт дополнительную экономию до 10–12 % эксплуатационных расходов. Таким образом, использование вторичных водных ресурсов в Карагандинском регионе обеспечивает не только водную, но и экономическую устойчивость сельского хозяйства.

Для использования очищенной воды в сельском хозяйстве нужно повысить её пригодность. Так как первичная и вторичная очистка уже присутствует на станции, хорошим решением было бы добавить биологическую доочистку, а также УФ-обеззараживание или контрольное хлорирование. Это обеспечит приемлемый уровень качества для большинства непищевых и многих продовольственных применений при условии контроля по металлам. [4]. Внедрение системы регулярного контроля состава воды в накопительных прудах и почве тоже является неотъемлемой частью. Для повышения пропускной способности станции можно модернизировать аэротенки и отстойники. Сейчас часть воды расходуется внутри станции на промывку решёток, песколовков и оборудования и не возвращается в поток очищенной воды. Если наладить внутренний оборот, то часть этой воды можно повторно направлять на полив и технические нужды — это увеличит общий полезный объём очищенной воды. На биопрудах и открытых отстойниках теряется до 5–10 % воды из-за испарения, особенно летом. Если накрыть биопруды плёнками, сетками или сделать закрытые резервуары, можно сохранить до нескольких тысяч м³ воды в сутки. В старых районах часть сточных вод может сбрасываться напрямую в реку или грунт.

Проведённое исследование показало, что использование очищенных сточных вод в сельском хозяйстве является одним из наиболее эффективных путей сохранения водных запасов Казахстана. В условиях дефицита пресной воды и изменения климата повторное применение сточных вод может значительно снизить нагрузку на природные источники, уменьшить объёмы сбросов и повысить устойчивость аграрного сектора.

Для Казахстана внедрение технологий вторичного водопользования имеет стратегическое значение. Рекомендуется разработать государственную программу по повторному использованию сточных вод, модернизировать существующие очистные сооружения, внедрить систему санитарного и экологического мониторинга качества очищенной воды, а также стимулировать предприятия, применяющие технологии повторного водопользования.

Литература:

1. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2400000066>
2. <https://kar-su.kz/ru/vodootvedenie>
3. <https://isralove.org/load/16-1-0-1281?ysclid=mh0cog746p212288195>
4. https://www.mdpi.com/2073-4395/12/8/1877?utm_source

Нашарбекова Д.Е., Андрищенко Ю.А., Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова, факультет математики и информационных технологий, гр. М2-Мат-24-2р, магистранты
(Научный руководитель - PhD, ассоциированный профессор (доцент), профессор Космакова М.Т.)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ С ПАМЯТЬЮ НА ОСНОВЕ ДРОБНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

Аннотация. В работе исследуется краевая задача для волнового уравнения дробного порядка с пространственной нагрузкой, моделирующая процессы в средах с «эффектом памяти». Авторы описывают математическую модель на основе производных Римана–Лиувилля и предлагают численную схему решения с использованием аппроксимации Грюнвальда–Летникова, позволяющую анализировать влияние параметров дробности на динамику и затухание волновых процессов.

Введение. При моделировании волновых процессов в средах со сложной внутренней структурой существенную роль играет учет эффектов памяти, при которых эволюцию системы можно определить не только текущим состоянием, но и всей предысторией процесса. Классические дифференциальные уравнения целого порядка не всегда могут позволять адекватно описывать такие явления, что приводит к необходимости использования аппарата дробного дифференцирования [1–2].

Дробные производные обеспечивают корректное математическое описание наследственных и диссипативных свойств среды и позволяют обобщить классическую модель волнового уравнения [3]. Применение дробного волнового уравнения позволяет расширить возможности анализа динамики колебательных процессов и построения более точных математических моделей реальных физических систем.

Постановка задачи. Рассматривается область $\Omega = \{(x, t) | 0 < x < +\infty, t > 0\}$

В области Ω требуется найти решение краевой задачи для дробного волнового уравнения с нагрузкой по пространственной переменной [4]:

$$D_{0t}^{\alpha} u(x, t) = u_{xx}(x, t) + \lambda D_{0x}^{\beta} u(x, t) |_{x=\gamma(t)} + f(x, t)$$

где $\alpha \in (1, 2), \beta \in (1, 2), D_{0t}^{\alpha}$ и D_{0x}^{β} — дробные производные Римана–Лиувилля, — параметр нагрузки.

Начальные условия:

$$D_{0t}^{\alpha-1} u(x, t) |_{t=0} = \varphi(x),$$

$$D_{0t}^{\alpha-2} u(x, t) |_{t=0} = \psi(x).$$

Граничные условия:

$$\begin{aligned} u(0, t) &= v(t), \\ \lim_{x \rightarrow +\infty} u(x, t) &= 0 \end{aligned}$$

Введение параметра λ позволяет исследовать влияние интенсивности пространственной нагрузки на поведение решения, а функция $\gamma(t)$ задаёт закон изменения точки приложения нагрузки во времени, что расширяет класс рассматриваемых динамических режимов.

Решение соответствующей задачи без пространственной нагрузки допускает интегральное представление через функции Грина, что позволяет использовать метод редукции к интегральному уравнению при исследовании исходной задачи [5].

Дробное волновое уравнение порядка $\alpha \in (1, 2)$ является обобщением классического уравнения. При $\alpha = 2$ модель переходит в стандартное гиперболическое уравнение, тогда как при $\alpha < 2$ возникает эффект памяти, обусловленный нелокальным характером дробной производной.

Нелокальность по времени означает зависимость решения от всей предыстории процесса. При предельном переходе $\alpha \rightarrow 2$ решение стремится к решению классического волнового уравнения.

Наличие пространственной дробной нагрузки приводит к дополнительному нелокальному влиянию по пространственной переменной.

Пусть

$$x_i = ih, \quad t_n = n\tau$$

h — шаг по пространству,

τ — шаг по времени.

Дробная производная по времени аппроксимируется схемой Грюнвальда–Летникова [6]:

$$D_{0t}^{\alpha} u(x_i, t_n) \approx \frac{1}{\tau^{\alpha}} \sum_{k=0}^n \omega_k^{(\alpha)} u(x_i, t_{n-k}),$$

где весовые коэффициенты задаются рекуррентно:

$$\omega_0^{(\alpha)} = 1, \quad \omega_k^{(\alpha)} = \left(1 - \frac{\alpha + 1}{k}\right) \omega_{k-1}^{(\alpha)}.$$

Вторая производная по пространству аппроксимируется центральной разностью второго порядка:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x_i, t_n) \approx \frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{h^2}.$$

Таким образом, на каждом временном шаге решение определяется системой линейных алгебраических уравнений с учетом суммарного вклада предыдущих слоев, что отражает эффект памяти модели.

Следует отметить, что учет дробной производной по времени требует хранения значений решения на всех предыдущих временных слоях, что увеличивает вычислительные затраты по сравнению с классическими моделями [1, 7]. Однако такая структура алгоритма напрямую отражает физический смысл эффекта памяти.

Разработанная численная схема позволяет проводить параметрический анализ и исследовать влияние величин α, β и λ на характер волнового процесса, амплитуду колебаний и скорость затухания

решения. Полученная разностная схема реализуется итерационно по временным слоям с учетом пространственной нагрузки.

Заключение. В работе исследована краевая задача для дробного волнового уравнения с пространственной нагрузкой. Построена математическая модель, учитывающая эффект памяти за счёт использования дробных производных [8]. Проведена численная реализация и выполнен анализ влияния дробного порядка на динамику решения. Результаты подтверждают существенное влияние параметров дробности на характер распространения и затухания волновых процессов.

Литература

1. Podlubny I. Fractional Differential Equations. — San Diego: Academic Press, 1999.
2. Kilbas A.A., Srivastava H.M., Trujillo J.J. Theory and Applications of Fractional Differential Equations. — Amsterdam: Elsevier, 2006.
3. Samko S.G., Kilbas A.A., Marichev O.I. Fractional Integrals and Derivatives: Theory and Applications. — New York: Gordon and Breach, 1993.
4. Mainardi F. Fractional Calculus and Waves in Linear Viscoelasticity: An Introduction to Mathematical Models. — Imperial College Press, 2010. — 347 p.
5. Mainardi F. Fractional Calculus and Waves in Linear Viscoelasticity. — London: Imperial College Press, 2010.
6. Diethelm K. The Analysis of Fractional Differential Equations. — Berlin: Springer, 2010.
7. Gorenflo R., Kilbas A.A., Mainardi F., Rogosin S.V. Mittag-Leffler Functions, Related Topics and Applications. — Berlin: Springer, 2014.
8. Li C., Zeng F. Numerical Methods for Fractional Calculus. — Boca Raton: CRC Press, 2015.

Омаров Д.Р., Карагандинский национальный исследовательский университет им. Е.А. Букетова, физико-технический факультет, гр. РТ-23-2р, студент

Әлібай Ә.А., Карагандинский национальный исследовательский университет им. Е.А. Букетова, физико-технический факультет, гр. ТФ-23-2р, студент

Нурпейсов А.А., Карагандинский национальный исследовательский университет им. Е.А. Букетова, физико-технический факультет, гр. РТ-24-1к, студент

(Научный руководитель - к.ф.-м.н., старший преподаватель кафедры радиофизики и электроники Әлиев Е.М.)

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛА ИНДУКТИВНОГО ДАТЧИКА НА НАДЕЖНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ

В современных системах железнодорожной автоматики и телемеханики датчики играют ключевую роль в задачах обнаружения подвижного состава, контроля положения стрелок и счета осей. Надежность этих систем напрямую влияет на безопасность движения. Однако, эксплуатация датчиков в условиях железной дороги сопряжена с воздействием агрессивной электромагнитной среды и механических вибраций.

Основной проблемой, снижающей достоверность контроля, являются ложные срабатывания («дребезг» контактов или импульсные помехи), вызванные наводками от тяговых двигателей или вибрацией рельсового полотна при прохождении поезда. Как отмечается в технической документации к контроллерам Siemens S7-200 SMART, искажение сигнала может привести к тому, что кратковременные перепады будут интерпретированы системой как полезный сигнал, что недопустимо в задачах счета осей или позиционирования.

Существует два основных подхода к устранению ложных срабатываний: аппаратный и программный.

1. Аппаратная фильтрация. Традиционно применяются RC-цепочки или триггеры Шмитта на входе контроллера. Недостатком является жесткая привязка к характеристикам «железа» и невозможность реализации сложных алгоритмов обработки.

2. Программная фильтрация. Реализуется на уровне кода прикладной программы ПЛК. Этот метод позволяет применять алгоритмы цифровой обработки сигналов (ЦОС), такие как временная задержка (Debounce), усреднение (Moving Average) или медианная фильтрация.

Согласно теории цифровой обработки сигналов, программная фильтрация обладает неоспоримым преимуществом — гибкостью. Мы можем изменять параметры фильтра (время задержки, окно усреднения) «на лету» в зависимости от скорости поезда или погодных условий, не вмешиваясь в электрическую схему. В данной работе обосновывается эффективность применения программного алгоритма подавления дребезга и скользящего среднего для повышения надежности системы.

В работе рассматриваются вопросы программной обработки сигналов индуктивных датчиков в системах железнодорожной автоматики на базе ПЛК S7-200 SMART. Проведен сравнительный анализ методов временной фильтрации с использованием таймеров TON, TOF и алгоритмов подсчета импульсов. Экспериментально доказано повышение достоверности обнаружения объектов при использовании оптимальных временных уставок.