

- апреля 2025 г.). – Минск: БГУИР, 2025. – С. 324-326. – EDN WSCOKH.
2. Третьяков, И. А. Подавление ПЭМИН в видеоинтерфейсах посредством высокочастотной ШИМ помехи / И. А. Третьяков, Я. И. Русечников, В. В. Данилов // Информационные системы и технологии: материалы XI международного научного конгресса по информатике. В 2 ч. (Минск, 29–31 октября 2025 г.). – Ч. 1. – Минск: БГУ, 2025. – С. 111-114.
  3. Паршуткин, А. В. Экспериментальные исследования возможности применения программно-реализуемых мер снижения информативности побочных электромагнитных излучений видеосистемы стандарта DVI / А. В. Паршуткин, М. Р. Неаскина, И. П. Степанов // СПБНТОРЭС: труды ежегодной НТК. – 2023. – № 1(78). – С. 126-129. – EDN LAZWZX.
  4. Шпилевой, А. А. О возможности аналитического обнаружения сигнала ПЭМИН в видеоинтерфейсах стандарта HDMI / А. А. Шпилевой, А. А. Персичкин // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физ.-мат. и техн. науки. – 2022. – № 1. – С. 34-39. – EDN AWTJYC.
  5. Железняк, В. К. Методика оценки защищенности видеоинформации ШИМ-преобразователя средств вычислительной техники / В. К. Железняк, С. В. Харченко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. – 2020. – № 4. – С. 23-30. – EDN JRRBRM.

УДК 631.8

**А.А. Чуприкова, Д.Л. Дедов**  
Тамбовский государственный технический университет  
г. Тамбов, Россия

## **ПОЛУЧЕНИЕ ОБОГАЩЕННЫХ ЖИДКИХ УДОБРЕНИЙ МЕТОДОМ МЕХАНОАКТИВАЦИИ**

***Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы механоактивации водно-щелочных суспензий для получения жидких гуминовых удобрений. Показано, что обработка в роторно-импульсном аппарате (0,1 моль/л NaOH) совмещает диспергирование, сдвиг и кавитацию, ускоряя диффузию и извлечение ГК/ФК.*

## **PREPARATION OF ENRICHED LIQUID FERTILIZERS BY MECHANOACTIVATION**

*Abstract.* The article examines the mechanoactivation of aqueous-alkaline suspensions for producing liquid humic fertilizers. It is shown that treatment in a rotor-impulse apparatus (0.1 mol/L NaOH) combines dispersing, shear, and cavitation, thereby accelerating diffusion and the extraction of humic and fulvic acids (HA/FA).

Жидкие гуминовые удобрения – один из наиболее технологичных форматов применения природных гумусовых веществ в растениеводстве: такие препараты совместимы с фертигацией, листовыми подкормками и протравливанием семян, а также хорошо дозируются в поточных линиях. Ключевая инженерная задача здесь – быстро и бережно перевести гуминовые компоненты из твёрдого природного сырья в раствор гуматов щёлочных металлов, сохраняя их функциональные группы и коллоидную устойчивость концентрата. Для этого в последние годы активно используют механоактивацию водно-щелочных систем: в роторно-импульсных и родственных кавитационных аппаратах совмещают интенсивное диспергирование (измельчение, дезагрегацию) с гидродинамической кавитацией и сдвигом, что ускоряет диффузию, разрушает диффузионные/поверхностные «бутылочные горлышки» и повышает выход растворимых фракций гуминовых кислот (ГК) и фульвокислот (ФК). Такой подход опирается на расчётные и экспериментальные работы по гидродинамике и кавитации в роторах-статорах и импульсных модуляторах потока [1], фундаментальные исследования по кинетике механохимически активируемой щелочной экстракции ГК [2], а также на прикладные агрохимические разработки, где обоснована технико-экономическая эффективность механогидравлической обработки торфа перед щелочным выщелачиванием [3]. Параллельно в литературе подтверждена целесообразность работы с разбавленными щелочами (обычно NaOH или KOH) и показано, как параметры экстрагента, дисперсность твёрдой фазы и режим гидродинамического воздействия отражаются на составе и молекулярно-массовых характеристиках выделяемых фракций [4]. Наконец, для «дозвуковых» методов интенсификации (ультразвук) показано ускорение извлечения гумусовых компонентов, что хорошо согласуется с картиной усиленного переноса вещества и разрушения агрегатов при

механической/кавитационной активации [5]. В совокупности это формирует методологическую базу для конструкторских и режимных решений в линиях производства жидких гуминовых удобрений: из расчёта аппарата и оценки энергозатрат – к выбору гидромодуля, концентрации щёлочи, целевого размера частиц и времени обработки.

Для корректного переноса лабораторных протоколов в инженерные решения важны расчёты полей давления/скорости в роторных системах, где кавитация носит автоколебательный характер. Классическая работа Червякова В.М. и др. предлагает «зонный» подход к расчёту модулятора (каналы ротора/статора), выделяет условия возникновения интенсивной акустической кавитации и увязывает геометрию, частоту вращения, зазоры и перепад давления с режимами процессов «твёрдое–жидкость» (растворение/выщелачивание, эмульгирование) [1]. Эти соотношения используются как инженерный «скелет» при подборе зазора, шага каналов, частоты и требуемой мощности привода для заданной производительности по суспензии.

Экспериментальные работы Д.В. Дудкина и соавт. показывают, что образование ГК из торфа и лигноуглеводного растительного сырья в условиях ультразвуковой/кавитационной обработки водно-щелочных сред может описываться простыми кинетическими моделями (первый/второй порядок) с параметрами, зависящими от интенсивности механического воздействия. В частности, авторы демонстрируют, что при активном механохимическом воздействии скорость образования ГК коррелирует с генерацией реакционноспособных радикалов и зависит от рН/композиции щелочного раствора, что транслируется в выбор концентрации щёлочи и энергетики кавитации/сдвига [2]. Эти результаты поддерживают введение во многие модели объёмного «скоростного» коэффициента извлечения, который на практике растёт при уменьшении среднего размера частиц и усилении гидродинамики.

Технологическая логика процесса и экономичность. Современный технико-технологический анализ белорусской школы (А.М. Кулик, П.Ю. Крупенин) указывает, что наиболее оправданным маршрутом для жидких гуминовых продуктов является сочетание физической механоактивации (механогидравлическое/кавитационное диспергирование) с последующим щелочным выщелачиванием (KOH/NaOH) – так повышается доля водорастворимых органических веществ при умеренном расходе реагентов и энергии [3]. Отмечается роль подбора гидромодуля, рН и времени выдержки для достижения баланса «скорость извлечения ↔ сохранность макромолекулярной структуры» и подчёркивается необходимость контроля дисперсности,

поскольку именно она определяет удельную поверхность контакта и сопротивления переносу в пористых частицах.

Российские исследования на торфах Тульской области (Е.Д. Дмитриева и соавт.) показывают, что водно-щелочная экстракция формирует полидисперсные фракции ГК, различающиеся по молекулярной массе и относительному содержанию; при этом тип торфа и условия экстракции заметно влияют на соотношение фракций [4]. Эти результаты важны для понимания того, почему мягкая механоактивация (измельчение без перегрева и чрезмерной кавитационной эрозии) предпочтительна: она ускоряет перенос вещества, не переводя процесс в область нежелательной деструкции макромолекул, что критично для коллоидной стабильности и агрономической эффективности концентратов.

В работе [5] показано ускорение извлечения и повышение выхода при корректном подборе частоты/мощности; это подчёркивает общую закономерность: чем интенсивнее контролируемая механоактивация (кавитация, сдвиг), тем выше внешняя массоотдача и быстрее протекают внутриматричные процессы (распад агрегатов, раскрытие пор), до границы, где возникают риски деструкции. Эти выводы переносятся на гидродинамические аппараты, где можно масштабировать те же механизмы – через ротор-статорные зазоры, геометрию каналов и энергонасыщение зоны диспергирования.

В целом, можно определить следующие ключевые моменты:

- расчёт и режимы ротора-статора подбирают так, чтобы обеспечить устойчивую зону интенсивной кавитации и высокие сдвиговые скорости, совместимые с целевым диапазоном дисперсности сырья [1];

- кинетику извлечения можно описывать простыми моделями с параметрами, «управляемыми» механоактивацией и составом щёлочи [2];

- оптимум процесса – это баланс между скоростью извлечения и сохранностью структуры ГК/ФК, чего достигают мягким, но интенсивным диспергированием плюс щелочной экстракцией в умеренных концентрациях NaOH/КОН [3–5].

В данной работе основу жидких удобрений составлял биогумус. Суспензии готовили с отношением твердое:вода 1:10, 1:5 и 1:2,5 (массовое/объемное эквивалентное соотношение по опытной постановке). Каждая серия обрабатывалась в роторно-импульсном аппарате 5, 10 и 15 мин. После обработки пробы отстаивались, и оценка стабильности эмульсии осуществлялась через 24 часа, 1 неделю и 1 месяц.

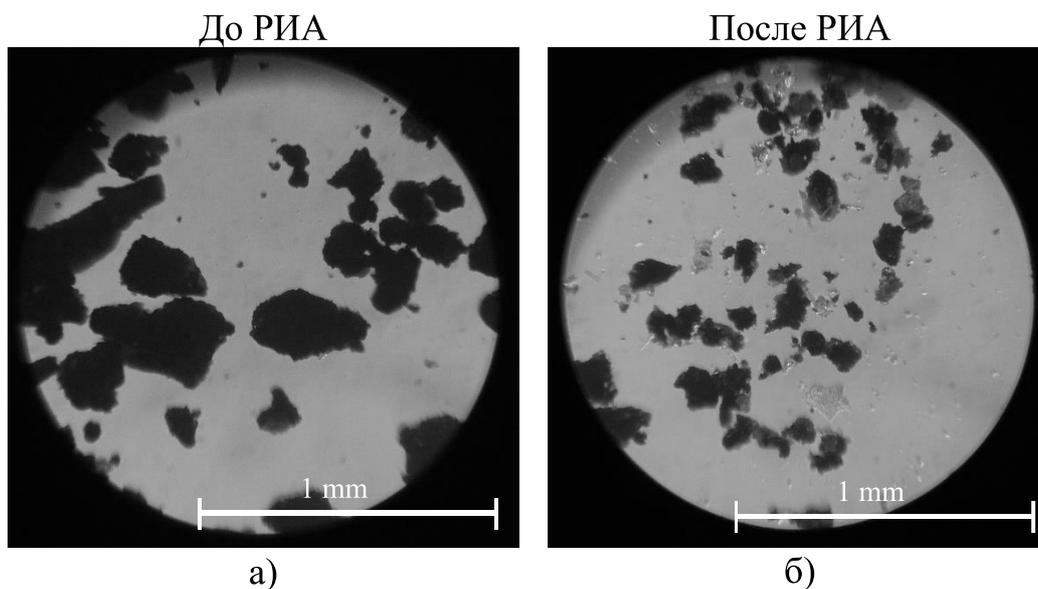


Рис. 1. Размеры частиц образцов до и после обработки в РИА.  
Увеличение 56х

Размер частиц оценивался при помощи просвечивающего микроскопа с увеличением 56х (рис. 1). На снимках видно разрушение агрегатов, появление мелкодисперсной фракции, разрыхление пористой гранул биогумуса:

- Исходный биогумус: гранулярные агрегаты с микроагломератами органики и минеральных включений (рис. 1, а).
- После РИА – агрегаты дробятся, матрица переходит в тонкодисперсную взвесь; наблюдается дефлокуляция и исчезновение крупных пористых «комков», появляется мелкая «пудра», отвечающая за стойкую мутность (рис. 1, б). Эти наблюдения получены на образцах «до» и «после» механоактивации в роторно-импульсном аппарате.

Биогумус образует устойчивую коллоидную взвесь. Поэтому при разбавлении 1:10 преобладают мелкие частицы/коллоиды и слой чистой надфазы почти не формируется. При более концентрированных суспензиях (1:5...1:2,5) быстрее оседают грубые агрегаты, и уже через длительный отстой видна высокая надфаза. Увеличение времени обработки в РИА (5→15 мин) дает постепенное повышение индекса осветления, но эффект умеренный: мелкие дисперсные фракции биогумуса остаются стабильными даже через месяц.

## Список использованных источников

1. Червяков В. М., Воробьёв Ю. В., Юдаев В. Ф. Обобщённая методика расчёта роторного аппарата с учётом акустической импульсной кавитации // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2005. Т. 11, № 3. С. 683–689.
2. Дудкин Д. В., Змановская А. С. Kinetics of mechanochemical processing of secondary plant raw in humic acid // *Вестник Югорского государственного университета*. 2015. Т. 11, № 3. С. 30–37.
3. Кулик А. М., Крупенин П. Ю. Обоснование рационального способа производства гуминовых удобрений из торфа // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023. №3. С. 181–185.
4. Дмитриева Е. Д., Леонтьева М. М., Сяндюкова К. В. Молекулярно-массовое распределение гуминовых веществ и гиматомелановых кислот торфов различного генезиса Тульской области // *Химия растительного сырья*. 2017. № 4. С. 187–194.
5. Ларина Г. В., Сергеева Н. В., Голдина Н. Г., Ларина О. В. Интенсификация извлечения гуминовых кислот из горных торфов с использованием ультразвуковой обработки металлов // *Южно-Сибирский научный вестник*. 2022. № 6. С. 23–29.

УДК 681.5.017

**М. Байрамов, О. Нурбердиева**

Международный университет Нефти и Газа имени Ягшигельди Какаева  
Ашхабад, Туркменистан

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

*Аннотация.* Одним из важных условий для того, чтобы студенты получили образование в соответствии с мировыми стандартами и внесли достойный вклад в экономическую, политическую и культурную жизнь страны, стали высоко квалифицированными и информированными специалистами, осведомленными о достижениях мировой образовательной и научной системы, является обеспечение возможности им активно и эффективно использовать современные информационные технологии в своей профессиональной деятельности. Программа, включающая расчеты всех процессов химической технологии, может использоваться в химической промышленности для повышения эффективности и улучшения инженерных решений, а также может использоваться для многих приложений, таких как исследования и разработка, проектирование и оптимизация процессов, технический сервис, анализ безопасности и угроз, экологические исследования и анализ. Кроме того, программа может работать и с неколичественными данными. Возможно выполнение таких