

УДК 532.528

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

ТЕХНИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО МОНИТОРИНГА КАВИТАЦИИ

Ушаков Олег Валентинович
к.с.-х.н.

РИНЦ SPIN-код= 8941-2830

e-mail: ovushakov62@mail.ru

Академии ФСИН России г Рязань Российская Федерация

Костенко Михаил Юрьевич

д.т.н., доцент

РИНЦ SPIN-код= 2352-0690

Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия

Закабунина Елена Николаевна

к.с.-х.н.

РИНЦ SPIN-код: 2752-7958

Российский государственный университет народного хозяйства им. В.И.Вернадского, Балашиха (МО), Россия

Изучение кавитационных процессов в целях интенсификации производственных процессов является одним из важных направлений. При кавитации возникают колебания регистрации, которых может служить средством мониторинга данного процесса. Целью исследования является разработка системы мониторинга кавитационного процесса, для оптимизации технологического процесса производства органических удобрений на основе гуминовых веществ. Методика исследования включала изучение кавитации, как на чистой воде, так и в среде представляющей из себя многофазную гетерогенную дисперсную систему. Анализу процесса кавитации подвергались: кавитатор гидродинамический многокамерный (КГМ); и ультразвуковой проточный кавитатор (УПК). Анализируемые показатели: 1. Уровень кавитации. 2. Размер частиц сырья. Измерение проведены в 3 кратной повторности с соблюдением принципа единственного различия. Полученные данные обобщены и статистически обработаны. Для выявления помех и шумов вызванных наличием примесей последовательность проведения исследований была следующей: 1) измерение на чистой воде; 2) измерение на чистой воде в рабочем режиме; 3) измерение на суспензии; 4) мониторинг в рабочем режиме (работа кавитатора); 5) управление рабочим процессом. При анализе средств для изучения и измерения кавитационного процесса

UDC 532.528

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

TECHNICAL MEANS FOR CAVITATION MONITORING

Ushakov Oleg Valentinovich
Cand.Agr.Sci.

RSCI SPIN-code=8941-2830

Academy of the Federal Penitentiary Service of Russia, Ryazan, Russia

Kostenko Mikhail Yuryevich

Dr.Sci.Tech., associate Professor

RSCI SPIN-code= 2352-0690

Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

Zakabunina Elena Nikolaevna

Candidate of Agricultural Sciences

RSCI SPIN-code: 2752-7958

Vernadsky Russian State University of National Economy, Balashikha, Russia

The study of cavitation processes in order to intensify production processes is one of the important directions. During cavitation, registration fluctuations occur, which can serve as a means of monitoring this process. The aim of the study is to develop a system for monitoring the cavitation process to optimize the technological process of producing organic fertilizers based on humic substances. The research methodology included the study of cavitation, both in pure water and in a medium consisting of a multiphase heterogeneous dispersed system. The following cavitation processes were analyzed: hydrodynamic multi-chamber cavitator (KGM); and ultrasonic flow cavitator (UPC). Analyzed indicators: 1. The level of cavitation. 2. The particle size of the raw material. The measurement was carried out in 3-fold repetition in compliance with the principle of the only difference. The obtained data are summarized and statistically processed. To identify interference and noise caused by the presence of impurities, the sequence of studies was as follows: 1) measurement on clean water; 2) measurement on clean water in operating mode; 3) measurement on suspension; 4) Monitoring in operation mode (cavitator operation); 5) Workflow management. When analyzing the means for studying and measuring the cavitation process, piezo sensors and a microcontroller for measuring the cavitation level were selected. The device was designed and studies of noise, interference and cavitation in the system were carried out. Studies have been conducted in which the

были подобраны пьезодатчики и микроконтроллер для измерения уровня кавитации. Сконструирован прибор и проведены исследования шумов, помех и кавитации в системе. Проведены исследования, при которых были выявлены условия перехода кавитации в суперкавитацию, что позволяет задавать режим работы системы для сокращения сроков обработки суспензии. Необходимо отметить, что увеличение давления в системе может являться основным параметром кавитационного процесса на кавитаторе гидродинамического типа. Ультразвуковой проточный кавитатор может так же с различной интенсивностью воздействовать на суспензию для получения кавитации. В связи с чем потребуются дополнительные изучения уровней давления в системе и интенсивностью ультразвукового воздействия. Основные шумы и помехи выявлены в системе и в сырье. Системные помехи вызваны шумами, создаваемыми в трубных переходах, тангенциальном входе в емкость накопитель при сбросе суспензии и запорной арматурой. Шумы в системе появляются при высвобождении песка и минеральных примесей из сырья и его трением о стенки системы. В режиме управления работой насоса удавалось сократить срок диспергирования суспензии с 10 до 20 минут, для достижения 100% измельчения частиц сырья в суспензии

Ключевые слова: КАВИТАТОР, РОТОРНО-ИМПУЛЬСНЫЙ АППАРАТ, КАВИТАЦИЯ, ПРОТОЧНЫЙ КАВИТАТОР, ИЗМЕРИТЕЛЬ КАВИТАЦИИ, АКУСТИЧЕСКИЙ КАВИТАТОР

conditions for the transition of cavitation to supercavitation were revealed, which allows you to set the operating mode of the system to reduce the processing time of the suspension. It should be noted that an increase in pressure in the system may be the main parameter of the cavitation process on a hydrodynamic type cavitator. An ultrasonic flow cavitator can also act on the suspension with varying intensity to produce cavitation. Therefore, additional studies of the pressure levels in the system and the intensity of ultrasonic exposure will be required. The main noise and interference were detected in the system and in the raw materials. System interference is caused by noise generated in pipe junctions, tangential entry into the storage tank during suspension discharge and shut-off valves. Noises in the system appear when sand and mineral impurities are released from the raw material and its friction against the walls of the system. In the pump operation control mode, it was possible to reduce the suspension dispersion time from 10 to 20 minutes to achieve 100% crushing of raw material particles in the suspension

Keywords: CAVITATOR, ROTARY PULSE APPARATUS, CAVITATION, FLOW CAVITATOR, CAVITATION METER, ACOUSTIC CAVITATOR

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-204-027>

Введение:

Кавитация в современном мире может быть не только источником проблем, но и средством интенсификации физико-химических процессов. Например, при кавитационном воздействии на суспензию может происходить ряд процессов таких, как разделение органической и минеральной части; диспергирование, обновление поверхностей материала, ускорение диффузии.

Основными показателями, которые напрямую влияют на появление кавитации, является локальный перепад давления (рис.1). Необходимо отметить сам процесс кавитации может, происходит, как с образованием

<http://ej.kubagro.ru/2024/10/pdf/27.pdf>

одного или множества одиночных кавитационных полостей, так и переходить в кавитационный кластер или суперкавитацию [1,2].



Схема 1 - Источники возникновения кавитации

Во всех случаях появления кавитации, процесс сопровождается колебаниями ультразвукового диапазона (от 20кГц и более), на основе которых может быть проведена регистрация данного явления [4].

Для регистрации ультразвуковых колебаний рекомендуют использовать конденсаторные микрофоны или пьезоэлементы.[3,4]

Таблица 1 -Достоинства и недостатки датчиков ультразвуковых колебаний

Конденсаторные микрофоны		Пьезоэлементы	
Достоинства	Недостатки	Достоинства	Недостатки
Равномерная динамика, и АЧХ*. Широкая частотная характеристика (от 20 – 20000 (40000) Гц.) Высокая чувствительность микрофона. Восприимчивость к тихим звукам или, изменениям тонов.	Не выдерживают механическое воздействие. Не устойчиво работают при изменении влажности и температуры. Высокая чувствительность в тракт попадают «ЭХО» и все посторонние звуки. Нуждаются в дополнительном питании.	Высокая чувствительность Защищённость от воздействия окружающей среды и источников помех. Быстрый отклик на воздействие. Длительный срок службы и высокая стабильность работы. рабочий диапазон частот с установленной неравномерностью АЧХ; рабочий диапазон ускорений с установленной нелинейностью АХ.**	Возможна перегрузка преусилителя. Резонанс или высокие собственные колебания.

* Амплитудно-частотная характеристика;

** Амплитудная характеристика;

Выходное напряжение пьезоэлемента с преобразователем и подключённой к нему измерительной цепью можно рассмотреть по формуле:

$$U_{\text{ВЫХ}} = I \left[\frac{R/(\omega * C)}{R + 1/(\omega * C)} \right], \quad (1)$$

где I – ток; R - сопротивление; ω – частота; C - емкость.

Мгновенное значение тока можно определить по формуле:

$$i = d(d_{11}Fm\sin\omega t)/dt \quad (2)$$

где t - время сек.; d_{11} -коэффициент пропорциональности пьезомодуля;

ω – частота; F_m - действующая на датчик сила;

Амплитуда напряжения и сдвиг фаз между напряжением и измеряемой силой зависит от частоты [3]:

$$U_{\text{ВХ.м}} = \frac{d_{11}F_m * \omega R}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 (C_{\text{ВХ}} + C_0)^2}} \quad (3)$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \arctg \omega (C_{\text{ВХ}} + C_0) R \quad (4)$$

Целью исследования является разработка системы мониторинга кавитационного процесса, для оптимизации технологического процесса производства органических удобрений на основе гуминовых веществ.

Задачами исследования были:

- разработка устройства и алгоритма обратной связи для автоматического управления процессом кавитации суспензии.

- определение параметров кавитационного процесса на оборудовании с различным принципом получения кавитации;

- подбор метода измерения кавитации в системе с переходом кавитационного процесса в суперкавитационный;

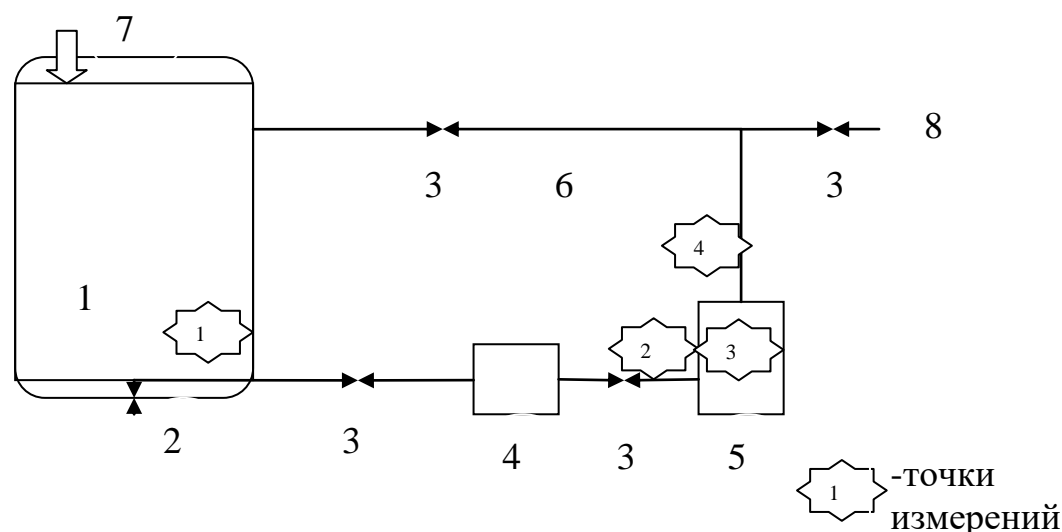
- определение помех и шумов при мониторинге процесса кавитации;

Методика исследования:

Анализу процесса кавитации подвергались: кавитатор гидродинамический много камерный (КГМ); и ультразвуковой проточный кавитатор (УПК).

Схема установок [2] для проведения исследований была одинакова во всех испытаниях (рис 2).

Кавитация изучалась, как на чистой воде, так и в среде представляющей из себя многофазную гетерогенную дисперсную систему. Дисперсная фаза представлена сырьем (торф), а дисперсная среда водой. Показатели сырья соответствовали всем требованиям ГОСТ Р54249-2010 [4] Точки проведения измерений обозначены на рисунке 2.



1-емкость с водно-сырьевой суспензией; 2- сливной кран; 3 – шарнирный кран; 4-насос; 5- кавитатор; 6 возвратный трубопровод; 7-ввод суспензии; 8- трубопровод на фильтра[]

Рисунок 2 – Принципиальная схема оборудования при исследовании эффективности кавитатора []

Режим работы оборудования был одинаков во всех исследованиях. Суспензия представляла собой сырье -торф и вода (1:3). Объем 500л. заливали в емкость и начинали прокачивать через кавитатор. Для

определения шумов и возможных помех первоначально замеры выполнялись на чистой воде.

Образцы отбирались каждые 5 минут с начала работы. Основные показатели для анализа:

1. Уровень кавитации.
2. Дисперсность частиц торфа (измеряли ситовым методом) [2].

Измерение проведены в 3 кратной повторности с соблюдением принципа единственного различия.

Для выявления помех и шумов вызванных наличием примесей последовательность проведения исследований была следующей:

- 1) измерение на чистой воде в рабочем режиме (покачивание по системе);
- 2) измерение на суспензии(покачивание по системе);
- 3) мониторинг в рабочем режиме (работа кавитатора);
- 4) управление рабочим процессом.

Определение минеральной и зольной примеси в сырье и суспензии проводили по ГОСТ 11306-83.

Результаты:

Для съема показаний с пьезоэлемента были сконструированы и собраны датчик исследовательский и стационарный, а так же блок мониторинга с функцией управления по ШИМ (широко- импульсной модуляции PWM).

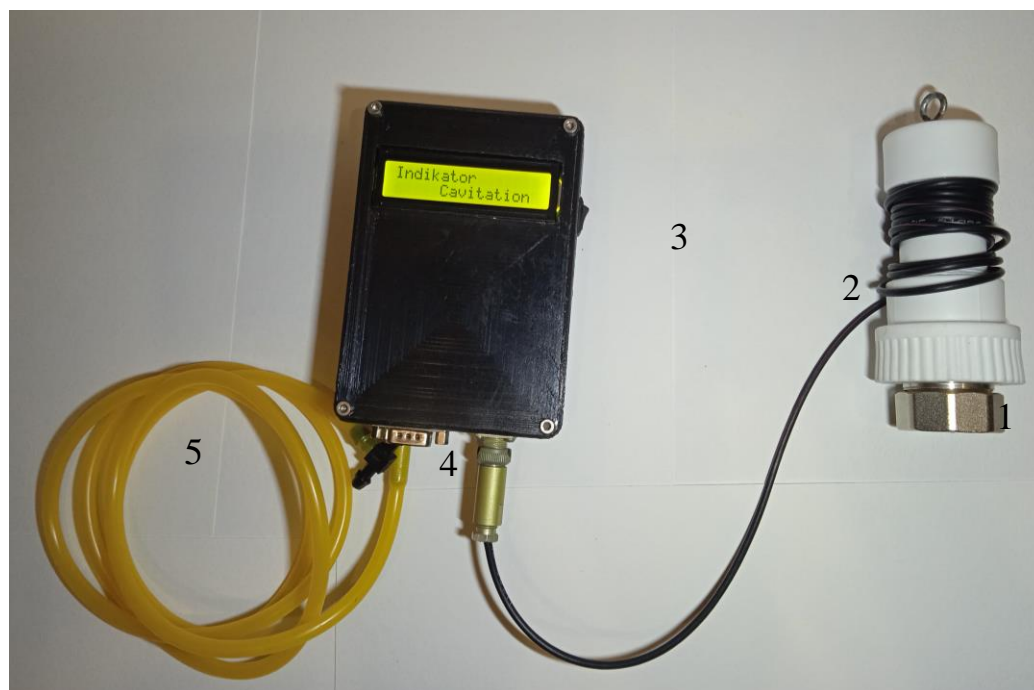


Рисунок 2 Блок мониторинга кавитации 1-датчик; 2- соединительный кабель; 3- измерительный блок; 4 – выход для подключения частотного регулятора электродвигателя; 5- шланг для подключения к системе измерения давления.



Рисунок 3 Сменные датчики блока мониторинга (слева поисковый справа стационарный, с переходником для монтажа на системе))

Общий вид блока и датчиков приведен на фотографиях рисунок 2 и рисунок 3. Блок схема устройства приведена на рисунке 4.

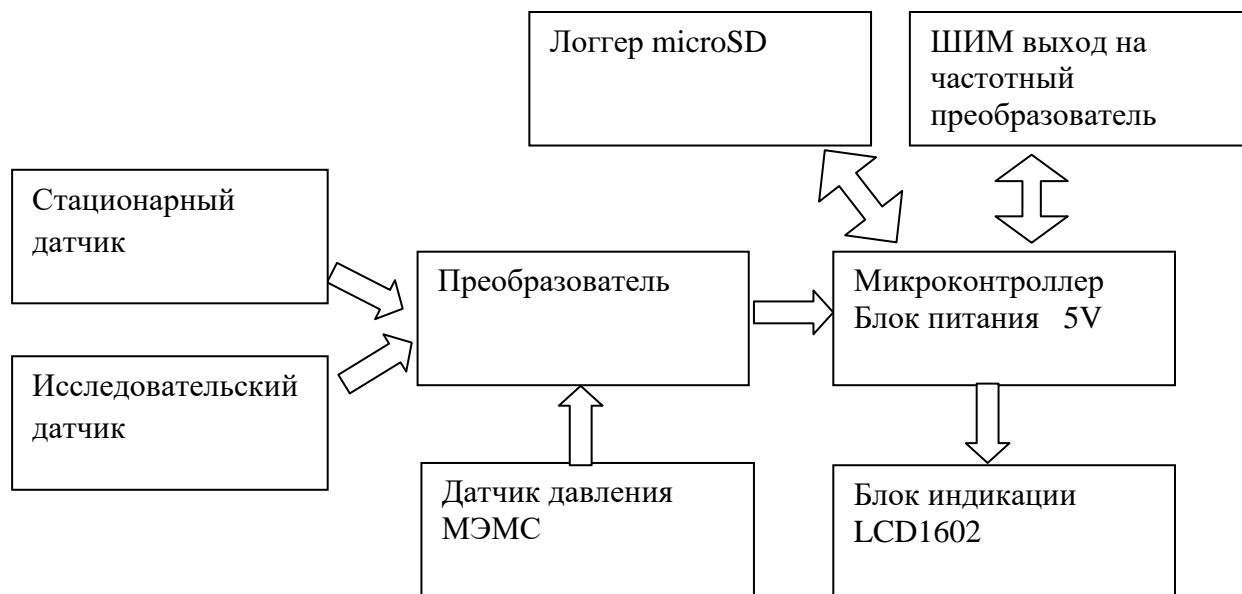


Рисунок 4 - Блок схема устройства мониторинга кавитации

Состав изделия: блок мониторинга, кабель с датчиком, шланг для подключения и измерения давления в системе; зарядное устройство и шнур питания.

Технические характеристики устройства:

Питание 5-12В/до 1,5А, встроенный аккумулятор 3,7В; 400мА/ч

Вес:0,75кг. Габаритные размеры блока, без учета крепления и разъемов 50x93x160 мм, длину кабелей и шланга возможно нарастить до необходимых размеров под заказ.

Режим работы блока мониторинга: переносной (исследовательский) или стационарный для управление частотным регулятором.

В режиме «исследовательский» проводятся измерения кавитации или шумов в системе. При работе в стационарном режиме датчик монтируется на кавитатор или кавитационную установку в заранее определенное место для измерения шумов вызываемых кавитацией. При определении пороговых значений кавитации (суперкавитиции) прибор в автоматическом режиме подает сигнал на частотный преобразователь с

подключенным двигателем насоса для поддержания заданного уровня давления в системе и регистрирует его датчиками.

В прошивку микроконтроллера интегрирована классическая матричная модель искусственного интеллекта (рисунок 5).

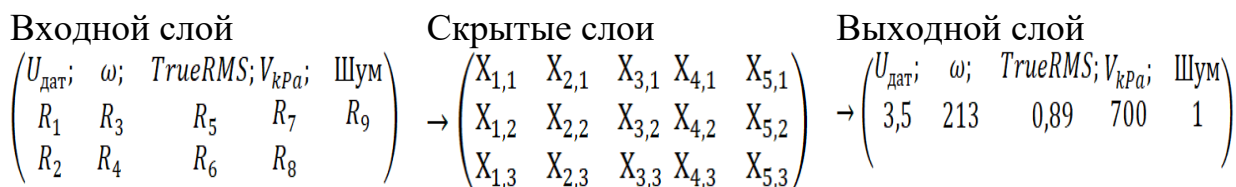


Рисунок 5 - Классическая матричная модель искусственного интеллекта

Благодаря этой программе возросла точность определения шумов кавитации.

При замере на проточном многокамерном кавитаторе в режиме мониторинга получены следующие результаты: в первой точке (накопительная емкость) среднее значение составило 0,079 ($\pm 0,035$ при 95% уровне значимости). Колебания вызваны завихрениями воды/суспензии в тангенциальном входе/выходе емкости, а так же сбросом воды, кроме этого шумы были от минеральной примеси (песок). Во второй точке между насосом и кавитатором среднее значение составило 0,092 ($\pm 0,036$ при 95% уровне значимости) основные шумы вызваны перепадом давления в системе и трением минеральных примесей.

В третьей точке (поверхность кавитатора) среднее значение составило 0,582 ($\pm 0,2$ при 95% уровне значимости) шумы вызваны трением механических частиц и появлением кавитации.

В четвертой точке (выход кавитатора) среднее значение составило 0,538 ($\pm 0,21$ при 95% уровне значимости), что вызвано давлением в системе и кавитационными процессами.

Динамика кавитационного процесса представлена на рисунке 6.

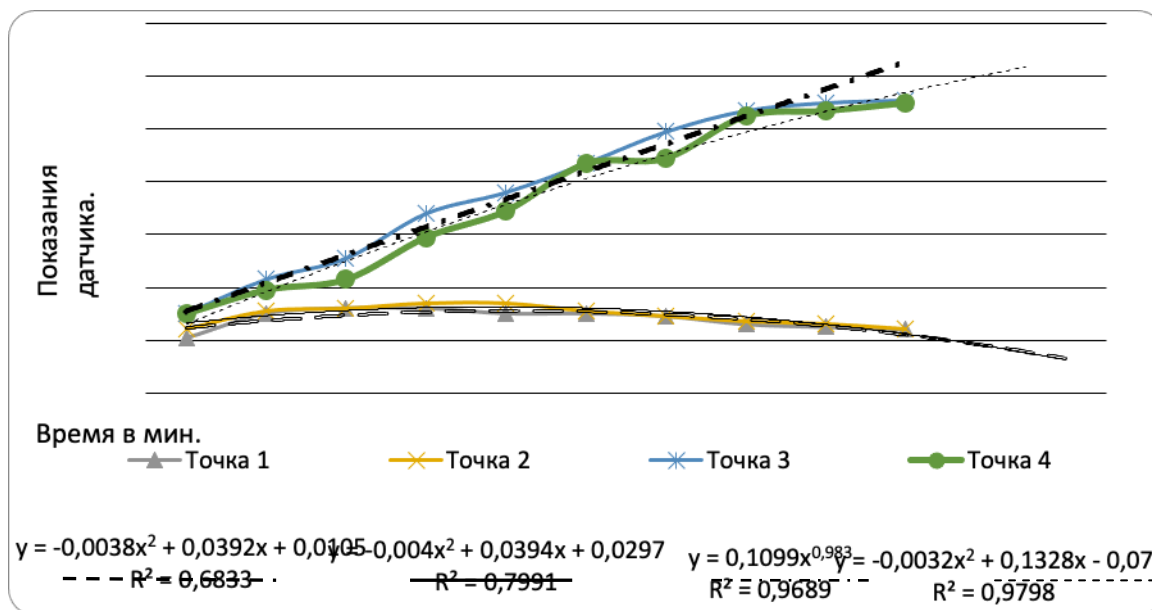


Рисунок 6 - Динамика кавитационного процесса на кавитаторе гидродинамическом многокамерном.

При замерах на ультразвуковом проточном кавитаторе в режиме мониторинга получены следующие результаты: в первой точке (накопительная емкость) среднее значение составило 0,083 ($\pm 0,031$ при 95% уровне значимости). Колебания вызваны завихрениями воды/суспензии и минеральной примеси (песок).

Во второй точке между насосом и ультразвуковыми излучателями среднее значение составило 0,093 ($\pm 0,036$ при 95% уровне значимости) основные шумы вызваны перепадом давления в системе и трением минеральных примесей.

В третьей точке (поверхность трубы между излучателями) среднее значение составило 0,865 ($\pm 0,066$ при 95% уровне значимости) шумы вызваны трением механических частиц и появлением кавитации.

В четвертой точке (поверхность трубы после излучателей) среднее значение составило 0,881, ($\pm 0,061$ при 95% уровне значимости), что вызвано давлением в системе и кавитационными процессами.

Динамика кавитационного процесса представлена на рисунке 7.

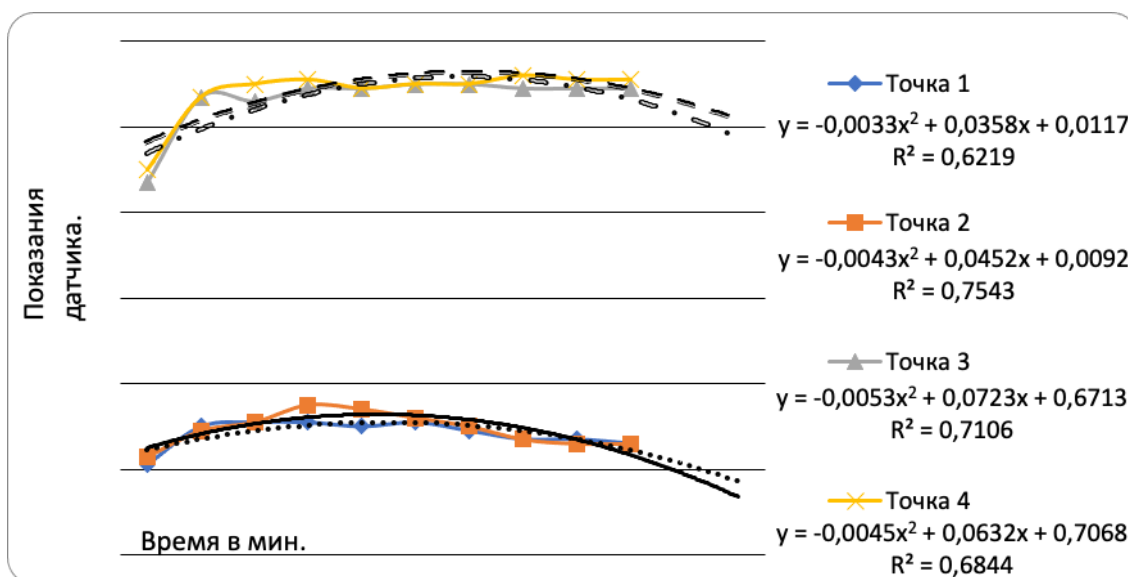


Рисунок 7 - Динамика кавитационного процесса на ультразвуковом проточном кавитаторе

Определение точек для мониторинга развития кавитационного процесса в системе позволило определить основные положения датчиков и показатели процесса с целью управления процессами кавитации. Для этого в блок мониторинга введен режим при котором происходит отслеживание процесса кавитации и его регулировка по средствам ШИМ сигнала на частотный преобразователь. Частотный преобразователь в зависимости от приходящего сигнала управляет двигателем насоса для получения заданного уровня давления в системе и соответственно уровня кавитации.

На рисунке 8 видно, что частички сырья в образцах, перед началом обработки были приблизительно равные по габаритам частиц. Измельчение более 90% частичек в суспензии достигнуто приблизительно через 30 мин. работы. При этом наиболее быстрое измельчение заметно у роторно-импульсного аппарата. Гидродинамический кавитатор смог полностью измельчить сырье через 30-35 минут. Ультразвуковой проточный кавитатор переработал сырье в суспензию через 35-40 минут.

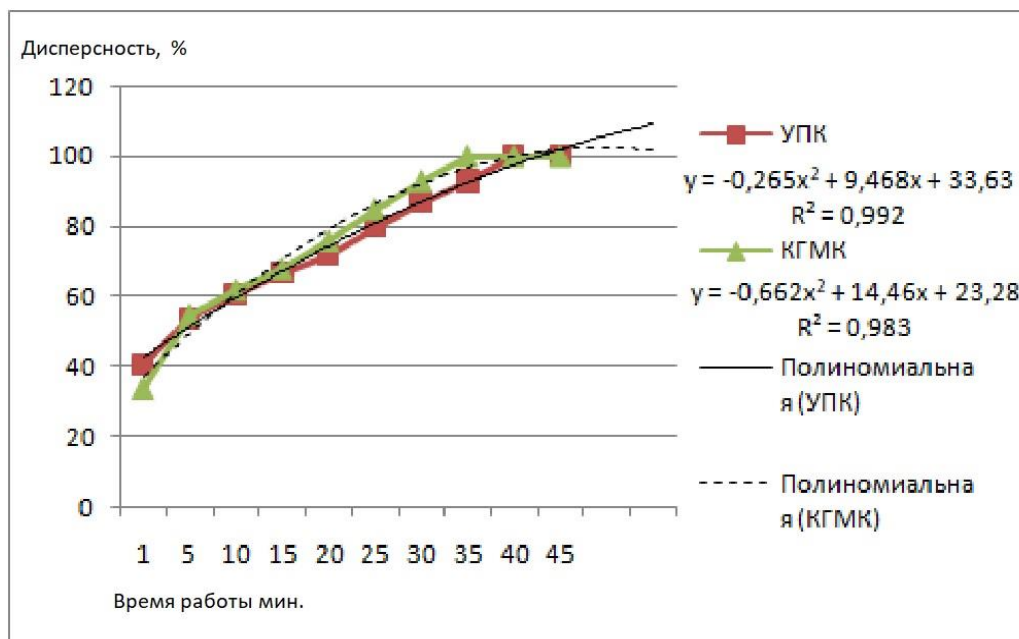


Рисунок 8 – Размер частиц суспензии в зависимости от продолжительности кавитации.

В режиме управления работой насоса удавалось сократить срок диспергирования суспензии до 20 минут.

Выводы:

При анализе средств для изучения и измерения кавитационного процесса были подобраны пьезодатчики, датчик давления и микроконтроллер для измерения уровня кавитации. Сконструирован прибор и проведены исследования шумов, помех и кавитации в системе.

Проведены исследования, при которых были выявлены условия перехода кавитации в суперкавитацию, что позволяет задавать режим работы системы для сокращения сроков обработки суспензии.

Установлено, что увеличение давления в системе может являться основным параметром кавитационного процесса на кавитаторе гидродинамического типа. Ультразвуковой проточный кавитатор может так же с различной интенсивностью воздействовать на суспензию для получения кавитации. В связи с чем потребуются дополнительные изучения уровней давления в системе и интенсивностью ультразвукового воздействия.

Основные шумы и помехи выявлены в системе. Системные помехи вызваны шумами, создаваемыми в трубных переходах, тангенциальном входе в емкость накопитель при сбросе суспензии и запорной арматурой. Шумы в системе появляются при высвобождении песка и минеральных примесей из сырья и его трением о стенки системы.

В режиме управления работой насоса удавалось сократить срок диспергирования суспензии с 40-45 минут до 20 минут, для достижения 100% измельчения частиц сырья в суспензии.

Список литературы:

1. Критериальные зависимости для расчета процесса экстрагирования гуминовых кислот из торфа и биогумуса в роторном импульсном аппарате Промтов М.А., Степанов А.Ю. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2021. Т. 27. № 2. С. 263-274.

2. Ушаков, О. В. Описание дисперсной среды для производства гуминовых удобрений/ О. В. Ушаков, М. Ю. Костенко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 192-200. – DOI 10.36508/RSATU.2024.44.82.022. – EDN UHSVBF.

3. Электрические измерения неэлектрических величин : [учебное пособие для вузов] / Туричин А. М. [и др.] ; под редакцией Новицкого В. В. - 5-е изд., перераб. и доп. - Ленинград : Энергия, Ленинградское отделение, 1975. - 576 с. : ил.

4. Ушаков, О. В. Сравнительный анализ рабочих процессов кавитаторов при производстве гуминовых удобрений / О. В. Ушаков, М. Ю. Костенко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 1. – С. 163-173. – DOI 10.36508/RSATU.2024.44.82.022. – EDN UHSVBF.

References

1. Kriteriāl`ny`e zavisimosti dlya rascheta processa e`kstragirovaniya guminovy`x kislot iz torfa i biogumusa v rotornom impul`snom apparate Promtov M.A., Stepanov A.Yu. // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. 2021. T. 27. № 2. S. 263-274.

2. Ushakov, O. V. Opisanie dispersnoj sredy` dlya proizvodstva guminovy`x udobrenij/ O. V. Ushakov, M. Yu. Kostenko // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotexnologicheskogo universiteta im. P.A. Kosty`cheva. – 2024. – T. 16, № 2. – S. 192-200. – DOI 10.36508/RSATU.2024.44.82.022. – EDN UHSVBF.

3. E`lektricheskie izmereniya nee`lektricheskix velichin : [uchebnoe posobie dlya vuzov] / Turichin A. M. [i dr.] ; pod redakciej Noviczskogo V. V. - 5-e izd., pererab. i dop. - Leningrad : E`nergiya, Leningradskoe otdelenie, 1975. - 576 s. : il.

4. Ushakov, O. V. Sravnitel`ny`j analiz rabochix processov kavitatorov pri proizvodstve guminovy`x udobrenij / O. V. Ushakov, M. Yu. Kostenko // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotexnologicheskogo universiteta im. P.A. Kosty`cheva. –

2024. – Т. 16, № 1. – С. 163-173. – DOI 10.36508/RSATU.2024.44.82.022. – EDN UHSVBF.