ЭНЕРГЕТИКА

DOI - 10.32743/UniTech.2021.92.11.12621

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ШРЕДЕРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ КАБЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Иванова Вера Павловна
доцент, PhD,
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Цыпкина Виктория Вячеславовна
доцент, PhD,
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Турабеков Ойбек Улугбекович
ассистент,
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: turabekovaybek@gmail.com

Ортиқова Мусаллам Жаҳонгир қизи
ст. преподаватель,
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,
Республика Узбекистан, г.Ташкент
E-mail: musallam1980@mail.ru

Назруллаев Сирожиддин Фозилиддин ўғли
магистрант,
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: sirozh24@gmail.com

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL DESCRIPTION OF A SHREDDER FOR PROCESSING CABLE WASTE

Vera Ivanova
Associate Professor, PhD,
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,
the Republic of Uzbekistan, Tashkent

Victoria Tsypkina
Associate Professor, PhD,
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,
the Republic of Uzbekistan, Tashkent

Oybek Turabekov
Assistant,
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,
the Republic of Uzbekistan, Tashkent

Musallam Ortikova
Senior Lecturer,
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Библиографическое описание: РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ШРЕДЕРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ КАБЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Иванова В.П. [и др.]. 2021. 11(92). URL: *https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12621*

Sirojiddin Nazrullayev
Master,
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,
Republic of Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты математического моделирования процесса дробления в шредере. В качестве материала подлежащего дроблению рассматривались отходы кабельного производства. Работа по математическому изучению процесса дробления строилась на экспериментальных данных, которые получены в результате работы лабораторной установки. Разработанная модель шредера в статье представлена как система с загрузочной массой состоявшей из *n* параллельно соединенных шести динамических звена с постоянным. Эти звенья объединены в исходное звено и имеют ломанную характеристику разгона, которая состоит из отдельных скачкообразных сигналов единичных звеньев сдвинутых относительно начала координат на $\Delta\tau_i$. Результаты исследования позволили обосновать выбор частоты динамических процессов загрузки сыпучих отходов кабельного производства.

ABSTRACT

The article presents the results of mathematical modeling of the process of crushing cable waste in a shredder. Waste cables and wires were considered as the material to be crushed. The results of mathematical modeling of the crushing process are obtained on the basis of experimental data of the laboratory installation. The developed shredder model is presented in the article as a system with a loaded mass consisting of n parallel connected six dynamic links. These links are folded into the initial link and have a broken acceleration characteristic, which consists of separate step-wise signals shifted relative to the origin by $\Delta\tau_i$. The results of the study made it possible to justify the choice of technological parameters of the shredder, including for dynamic processes of loading bulk cable production waste into the working area of technological equipment.

Ключевые слова: отходы кабельного производства; шредер; дробилка; кабель; провод; крупнозерновая крошка; передаточная функция; динамические характеристики; частотная, амплитудная, фазовая и амплитудно-фазовая характеристики.

Keywords: cable production waste, shredder, crusher, cable, wire, coarse-grained crumbs, transfer function, dynamic characteristics, frequency, amplitude, phase and amplitude-phase characteristics.

Одним из видов технологического оборудования, задействованного в технологии переработки кабельных отходов является шредер. Основное назначение данного оборудования - дробление и измельчение загруженной массы, состоящей из разномерных кусков кабелей и проводов до состояния крупнозерновой крошки [1, 8].

В общем случае, процессы дробления и измельчения сопровождаются смешиванием массы загрузки с разной интенсивностью как в продольном, так и радиальном направлениях рабочей зоны шредера [2, 3, 4].

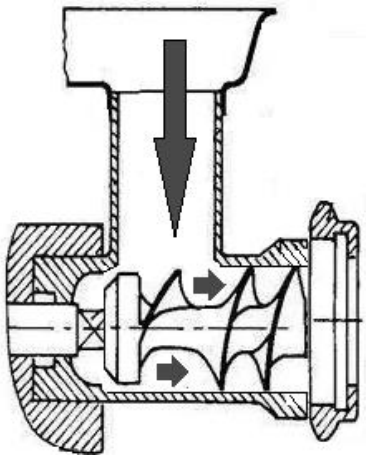


Рисунок 1. Схема лабораторной установки шредера

На лабораторной установке (рис.1) собранной на кафедре «Электромеханика и электротехнологии» ТашТГУ (г. Ташкент, Узбекистан) были проведен эксперимент, в ходе которого экспериментально подтверждено движение разнородных частиц сыпучих материалов в поперечном направлении при работе ротора. Установка эмитирует работу шредера и состоит из корпуса, электропривода, вращающего рабочего барабана – ротора и смеси сыпучих частиц (кабельных отходов разного размера и величины). Исследования проводились с использованием нескольких барабанов различного диаметра (*200, 400, 600, 800, 1000 мм*), которые эмитировали работу ротора. Диапазон регулирования скорости вращения ротора находился в пределах от *15* до *70 об/мин*. Исследуемый сыпучий материал также содержал стальные калиброванные шарики, окрашенные в темный цвет диаметром *5 мм*. Исследования включали в себя изучение процесса последовательным фотографированием смешивающейся массы материала при вращении ротора. Полученные результаты исследования свидетельствуют о том, что загруженная масса - «поток материала», смешивается из двух разнонаправленных потоков частиц: подъема и скатывания. Таким образом. масса загрузки в рабочей зоне равномерно смешивается и складывается из:

- частиц, меняющих свою траекторию и скорость,
- частиц, сталкивающихся друг с другом,
- частиц, проникающих в глубь массы,

- частиц, подвигающихся на верх.

Анализ фотоматериалов эксперимента позволил сделать вывод о том, что формирование итогового потока в поперечном сечении барабана образуется в скатывающемся слое - за счет смешивания двух потоков: подъема и скатывания частиц компонентов, а именно:

- разнородные частицы входящие в состав массы, движутся со скоростью по изменяющейся траектории, где скатываясь и сталкиваясь друг с другом;
- происходит смешивание частиц за счет их проникновения как в глубь массы, так и к поверхности слоя.

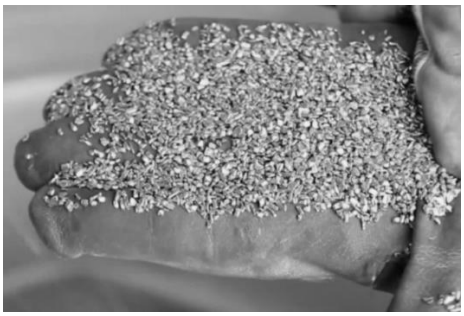
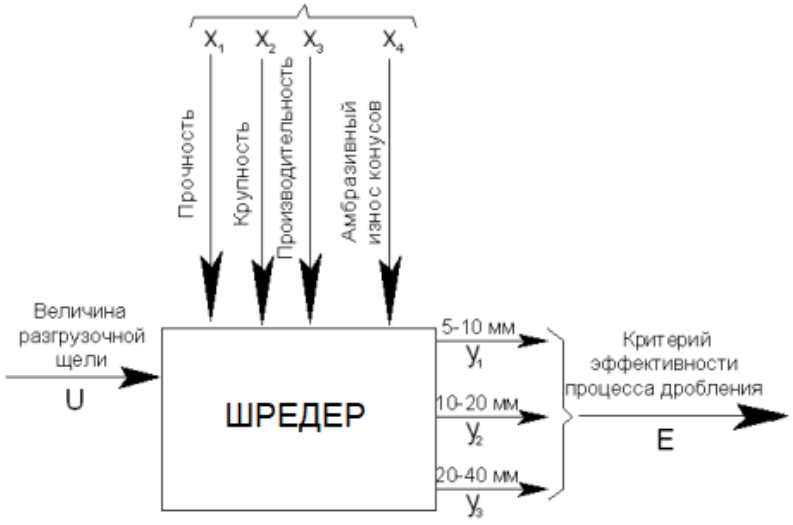


Рисунок 2. Загруженная масса: смесь полимерной стружки и медной крошки

Изучение влияния свойств загрузки на рабочие режимы шредера проводилось с использованием загружаемой смеси состоящей из полимерной стружки и медной крошки в пропорции *9:1*. Данные эксперимента позволили сделать вывод о том, что скорость вращения ротора зависит от свойств и состава массы подлежащей дроблению, а именно она растет при увеличении равномерности концентрации перерабатываемой массы через 10….9 оборотов ротора. Однако, завышение установленной скорости приводит к снижению качественного состава загружаемой смеси. При этом качество смеси (однородность) резко падает если завышен объем загрузки.

К сожалению, экспериментально нельзя в полной мере изучить процесс дробления и измельчения загруженной в шредер массы материала [2, 3, 7, 6, 8]. Поставленную задачу можно решить, разработав математическую модель дробления материала с учетом управления процесса равномерности смешивания. В это связи, необходимо принять допущения к разрабатываемой модели: оборудование работает в режиме непрерывного действия, а загрузка массы материала и выход дробленной крошки осуществляется непрерывным потоком.

Таким образом, шредер является объектом автоматического управления с загрузкой в виде кабельных отходов [2, 3, 4]. Определение параметров модели сводится к математическому описанию процесса дробления и загружаемой (крупнозерновой, разномассовой, неоднородной по составу) крошки (рис. 3).



U -входной сигнал; E – выходной сигнал; X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 - прочность материала подлежащего дроблению, размер кусков загрузки, износ режущих ножей и сетки, производительность оборудования соответственно; E- выходной сигнал; E - выходной сигнал; y_1, y_2, y_3 - геометрический размер зерен массы- курупностью помола.

Рисунок 3. Эквивалентная схема шредера

Входной сигнал (*U*) определяется геометрическими размерами и объемом загрузочного бункера, а также составом и свойствами компонентов загрузки.

Выходной сигнал (*E*)– определяется требованиями технологии – критериями эффективности процесса дробления, а именно геометрический размер зерен массы и курупностью его помола (y_1, y_2, y_3).

Возмущающим воздействием системы является: прочность материала подлежащего дроблению (x_1), размер кусков загрузки (x_2), износ режущих ножей и сетки (x_4), а также производительность оборудования (x_5).

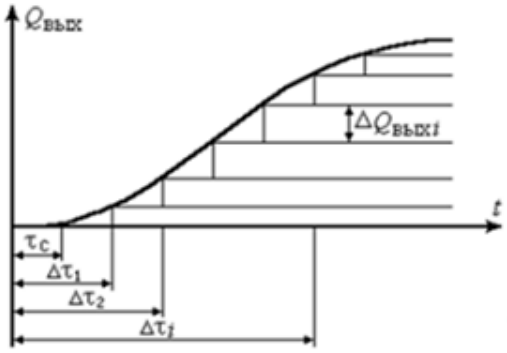


Рисунок 4 Динамическая характеристика шредера (переходная характеристика) – реакция на скачек, где $Q_{вых}$ - изменение выходной производительности; $Q_{вх}$ - вход скачкообразного воздействия в виде изменения производительности; $\Delta\tau$ – интервал времени

Переходная характеристика шредера представленная на рис. 4 и позволяет определить частотные характеристики процесса дробления [1, 3, 4, 5]. На основании результатов эксперимента, модель технологии смешивания и последующего дробления загруженного материала строится на послойном (ступенчатом) движении частиц. Этот процесс можно заменить ступенчатой функцией, где слои смешиваемой массы загрузки в рабочей зоне шредера равны скачкам сигналов системы (рис. 4). Увеличение числа ступеней в динамической характеристике процесса дробления определяется разностью в степени измельчения материала и с последующим постепенным сближением двух функций и их совпадением [5, 6, 7]. Выберем усредненное количество ступеней системы равное «шести» с интервалом между ними $\Delta\tau$. (в реальной системе их количество определяется требованиями к технологии).

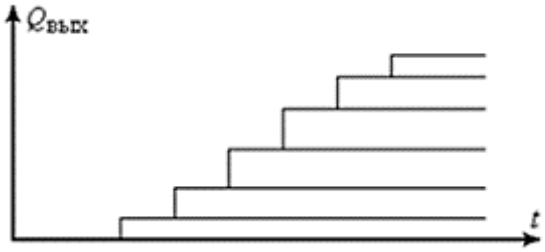


Рисунок 5. Динамическая характеристика шредера. Переходная характеристика, как сумма скачков.

Приложенное входное воздействие системы приравняем к выходному сигналу системы, который равен по величине ступеням ломаной кривой (скачкообразного сигнала $Q_{вх}$). Он состоит из шести скачков, меньших по величине к значению входного сигнала (рис. 5) общей системы с амплитудой равной $\Delta Q_{вх}$.

$$Q_{\text{вых}} = \text{К}_\text{с} Q^0_{\text{вх}} \approx K_c \sum_{i=1}^{6} \Delta Q^j_{\text{вых}} = \sum_{i=1}^{6} \Delta Q^j_{\text{вх}},$$

то

$$\Delta Q^j_{\text{вх}} = \frac{Q^j_{\text{вых}}}{K_c} \qquad (1)$$

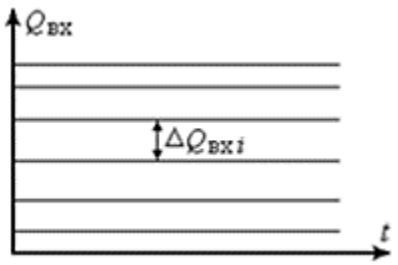


Рисунок 6 Динамическая характеристика смесительной установки: представление входного воздействия в виде суммы скачков

Последовательное приложение шести составляющих $\Delta Q_{вх}^{i}$ исходного скачка каждого звена суммарно равен входному сигналу (суммарный сигнал шести звеньев) и имеет временные постоянные запаздывания $\tau_1=\Delta\tau_1$, $\tau_2=\Delta\tau_2$, $\tau_3=\Delta\tau_3$ и т.д. (рис. 6), что позволило получить ломаную характеристику разгона рассматриваемой системы сложенной из отдельных скачкообразных сигналов сдвинутых относительно начала координат на $\Delta\tau_i$ (рис. 5).

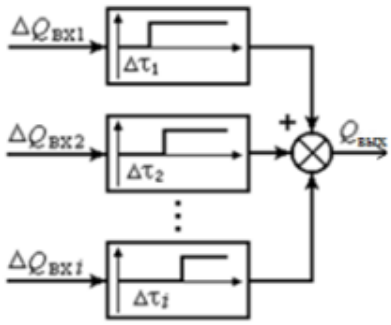


Рисунок. 7 Модель рабочей зоны шредера: реакция системы на суммарное значение скачков

Обобщенная модель шредера представлена как система из n параллельно соединенных звеньев, имеющих постоянное запаздывание и обладающих разными динамическими свойствами характеризующие движущиеся слои частиц, как отдельно взятое исходное звено. Выбранное приближение позволяет определить степень загрузки шредера, которая зависит от шага $\Delta\tau$ исходной переходной характеристики.

При подаче гармонического колебания частотой ω_i на вход рассматриваемой системы запаздывания, выходной сигнал каждого отдельного звена будет содержать гармоническое колебание со сдвигом по фазе на угол $\Delta\phi_i$, что определяет ее инерционность.

Общая реакция рассматриваемой системы складывается из суммы реакций отдельных элементарных звеньев, которые отображают траекторию и направление движения слоев загруженной массы тем самым описывают общую инерционность системы. Следует также отметить, что каждое звено обладает постоянным значением запаздывания (отставание по скорости и траектории) и с максимальной точностью описывает каждый отдельный слой массы загрузки, постепенно смешивающийся с другими слоями в рабочей зоне шредера [2, 3, 4].

Исследование реакции системы (U, jV) проводилось на комплексной плоскости каждого отдельного запаздывающего звена на скачкообразный сигнал (скачок) и подтвердило наличие сдвига потоков на $\Delta\tau$, представленный как вектор с единичной амплитудой и углом сдвига фазы $\Delta\phi_i$ относительно оси абсцисс $U(\omega)$.

Разработанная математическая модель шредера рассматривает реакцию системы с синусоидальным воздействием частотой ω_i, которая сложена из элементарных векторов. По результатам моделирования построены характеристики обобщенной системы (частотная, амплитудная, фазовая и амплитудно-фазовая) по слоям загрузки, состоящей из движущихся и смешивающихся потоками частиц (рис. 8).

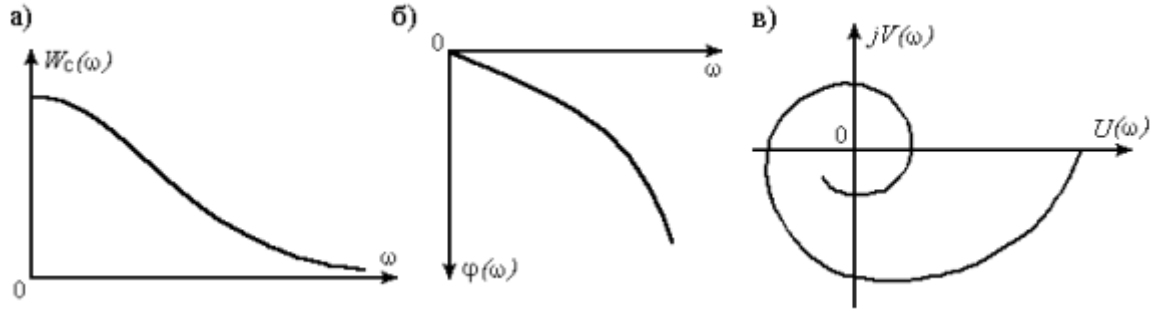


Рисунок 8. Частотные характеристики рабочей зоны шредера: а – амплитудная; б – фазовая; в – амплитудно-фазовая

Комплексная передаточная функция рассматриваемых звеньев имеет вид:

$$W(J\omega) = e^{-j\tau},$$

то

$$\Delta\varphi_i = \Delta\tau_i\omega_i \qquad (2)$$

Анализ результатов математического моделирования позволяет сделать вывод, о том, что шредер может быть представлен, как два последовательно соединенных элементарных звена: запаздывающего и инерционного первого порядка имеющих общую передаточную функцию [3, 4]:

$$W_c(p) = \frac{Q_{вых}(p)}{Q_{вх}(p)} = \frac{e^{-p\tau_c}}{T_c p + 1},$$

где τ_c – время запаздывания; T_c – постоянная времени смесителя.

Анализ частотных характеристик (рис. 8) показывает, что шредер в режиме непрерывного действия имеет инерционные свойства, которые проявляются в уменьшении значения амплитуды выходного сигнала по сравнению с амплитудой сигнала на

входе системы, изменяющегося по синусоидальному закону. При этом ослабление входного сигнала, а именно степени загрузки, растет с увеличением до определенного уровня частоты вращения вала рабочей зоны. Полученные результаты позволяют обосновать выбор частоты ω динамических процессов загрузки сыпучих кабельных отходов, равной величине большей частоте вращения среза ω_c слоя материала амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) шредера [5, 7, 8]. При этом вид АЧХ и частота среза ω_c слоя материала в дробилке, определяет требование к качеству управления процесса загрузки непрерывного действия по частоте переходного процесса.

Список литературы:

1. Изучение вопроса рециклинга кабельных отходов с использованием интеллектуализированной системы // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. Цыпкина В.В., Иванова В.П. [и др.]. 2020. 11(80). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10972 (дата обращения: 15.10.2021).
2. Колбасин А.М. Оптимизация состава многокомпонентной смеси при детерминированных ограничениях / А.М. Колбасин, А.В. Либенко // Новые технологии в автоматизации управления: сборник научных трудов. – М.: МАДИ, 2006. – С. 69–72.
3. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. Технико-теоретическая литература, М.: 1957. -408 с.
4. Колбасин А.М. Принципы связного дозирования многокомпонентных смесей / А.М. Колбасин, А.В. Либенко // Новые технологии в автоматизации управления: сборник научных трудов. – М.: МАДИ, 2006. – С. 73–75.
5. Марсов В.И. Особенности построения математической модели структуры композиций с элементами сферической формы / В.И. Марсов, А.В. Илюхин, Е.И. Бокарев // Вестник МАДИ. – 2012. – № 2. – С. 123–125.
6. Вопросы эффективности процесса производства токопроводящих жил на основе композиционных материалов для кабельно-проводниковой продукции // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Цыпкина В.В., Иванова В.П., Исамухамедов Д.Н., Ортикова М.Ж., Атамухамедова Р.Ф. 2021. 5(86). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11826 (дата обращения: 15.10.2021).
7. Вопросы цифровой трансформации кабельного предприятия // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Пирматов Н.Б., Иванова В.П., Цыпкина В.В., Назруллаева О.А., Раматов А.Н.. 2021. 6(87). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12024 (дата обращения: 15.10.2021).
8. V.P. Ivanova, V.V. Tsypkina, Improving the reliability of power supply to active consumers by improving the technology for manufacturing cable product, Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2020), ISSN: 2267-1242, E3S Web of Conferences 216, 01152 (2020) RSES 2020, Volume 216 (2020).
9. V.P. Ivanova, V.V. Tsypkina, D.B. Madrakhimov Improving the reliability of cable lines operation in hot climates, Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2020), ISSN: 2267-1242, E3S Web of Conferences 216, 01151 (2020) RSES 2020, Volume 216 (2020).