

**Objective.** The purpose of the article is to increase the efficiency of intelligent control of the production line of elite varieties of cheese through the use of robotic systems with ultrasonic cavitation technologies in the system of automatic information management of production.

**Method.** Generally accepted technical, physico-chemical, biochemical, microbiological and organoleptic methods of determining the quality of raw milk, cheese production processes and methods of identifying the processes of influence of ultrasonic vibrations on a heterogeneous environment are applied. The methods of system analysis and mathematical processing of experimental data using applied computer programs are applied as theoretical methods of research.

**Result.** Experimental studies of the effect of high-frequency and low-frequency ultrasonic vibrations on a heterogeneous medium in order to improve the efficiency of rennet raw material mass and control the process of improving product quality through the development of modern automated process control systems (APCS) cheese production.

According to the results of research developed mathematical models of parameters of ultrasonic vibrations in a heterogeneous environment and proved that under the influence of ultrasonic cavitation is the process of coagulation of milk, that is, the transformation of milk into gelatinous mass, from which, after pumping serum, obtained slices of the future fermented milk or hard cheese.

The process control system of cheese production with a high level of automation and control is developed. The system uses: control subsystem with automated workstations of operators on the basis of personal computers with SCADA-system of operational control; intelligent system of decision-making and control of robotic intensifiers of cavitation type; the system of intelligent processing of industrial, energy and other information, which allows you to work with information from the accumulated, and with the information of analog solutions obtained from the sensors of position, density, pH, pressure, power, performance, as well as intelligent digital sensors, which are a pronounced part of the «cloud» structure of the proposed system of ACS-APCS enterprise.

**Key words:** raw milk, cheese, ultrasonic vibrations, technological process, cavitation, adaptation, control, intellectualization.

DOI : 10.33274/2079-4827-2019 -38-1-78-84  
УДК 621.926.3

*Янович В. П., д-р техн. наук, доцент<sup>1</sup>  
Сосновська Л. В., асистент<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Вінницький національний аграрний університет (м. Вінниця, Україна), e-mail: lyudka\_dushkant@ukr.net

## РОЗРОБКА ДВОСЕКЦІЙНОГО МЛИНА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПРЕМІКСІВ

UDC 621.926.3

*Yanovich V. P., Grand PhD of Engineering Science,  
Associate Professor<sup>1</sup>  
Sosnovska L. V., Assistant Professor<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Vinnytsia National Agrarian University (Vinnytsia, Ukraine) e-mail: lyudka\_dushkant@ukr.net

## DEVELOPMENT OF TWO-SCALE MILK FOR PREPARATION PRODUCTION

**Мета** — розробка вібраційного млина для подрібнення і механоактивації мінералів для їх подальшого розчинення в субстраті та дослідження амплітудно-частотних, швидкісних та енергетичних характеристик виконавчого органу млина.

**Методи.** У роботі використано метод аналізу, синтезу, системний та порівняльний аналіз.

Надійшла до редакції 22.02.2019 р.

© В. П. Янович, Л. В. Сосновська, 2019

**Результати.** *Описано проблему забруднення навколишнього середовища в результаті накопичення відходів тваринництва і птахівництва. Наведено доцільність перероблення відходів у біогазовій установці для отримання двох якісних продуктів: біогазу і переробленого субстрату. Останній доцільно використати як органічну складову для виробництва органічно-мінерального добрива. Як мінеральні добавки використано ракушняк і глауконіт. Для подрібнення мінералів розроблено вібраційний двосекційний млин кутових коливань, який забезпечує надтонке подрібнення і активацію преміксів, за рахунок передачі вібраційного руху від периферійно розміщеного джерела вібрації до опозитно розміщених помольних камер. Наведені результати дослідження амплітудно-частотних, швидкісних та енергетичних характеристик виконавчого органу з різною величиною завантаження контейнера. Результати кінематичного дослідження роботи виконавчого органу вібраційної машини визначили оптимальну кутову швидкість приводного вала і встановили ефективність розробленої конструкції вібраційного млина кутових коливань.*

**Ключові слова:** *премікси, вібраційний млин, подрібнення, механоактивація.*

**Постановка проблеми.** Чорноземи — це одне з основних багатств нашої держави. Але щороку вміст гумусу в ґрунті зменшується. До цього призводить багато різних чинників. Насамперед, нераціональне ведення сільського господарства, недостатня кількість внесених добрив, особливо органічних, недотримання правил сівозміни, використання у великій кількості хімічних засобів по догляду за рослинами. Усе це призвело до того, що з часів Докучаєва (1882) відносні втрати гумусу досягли 22 % у Лісостеповій, 19,5 — у Степовій і біля 19 % — у Поліській зонах України. Найбільші втрати гумусу спостерігалися в період інтенсифікації сільського господарства. А нині доповнюються недостатньою кількістю внесених органічних добрив. За даними Держкомстату України, у 2008 р. норма внесення органічних добрив становила 0,6 т/га, тоді як у кінці 80-х років минулого століття — 8,6 т/га [1].

До зменшення кількості вивезених на поле органічних добрив призвело зменшення поголів'я великої рогатої худоби. Також за тривалого зберіганні відходів тваринництва втрачається значна кількість азоту. Одночасно при традиційному зберіганні гною відбувається забруднення ґрунту, води і повітря азотом і патогенною мікробіотою [2].

За останні десятиліття бурхливо розвивається птахівництво. Це призводить до накопичення пташиного посліду на рівні 1,5 млн т на рік. Частина посліду використовується для виготовлення добрив, але більшість підприємств накопичують відходи у відстійниках, що призводить до порушення санітарно-гігієнічних і екологічних вимог [3].

Існує багато методів і способів переробки відходів у вторинний якісний матеріал. Відходи можна піддавати компостуванню, вермикомпостуванню, застосовувати при переробці ЕМ-технології і використовувати як сировину для біогазових установок. Усі ці методи дають можливість отримати якісні добрива. Але у БГУ є ще одна перевага — отримання біогазу, який можна використовувати для виробництва теплової чи електричної енергії.

Органічні добрива є дуже необхідними для збіднених ґрунтів. Адже, для збереження родючості ґрунтів потрібно повертати в ґрунт ті поживні речовини, які виносяться з урожаєм. Тобто, за недостатньої кількості внесених органічних добрив різницю потрібно компенсувати мінеральними.

З цією метою доцільно використовувати природні мінерали, які в процесі обробки стануть легкодоступними для рослин. Пропонується надтонко подрібнювати мінеральну сировину і розчиняти її в органічних добривах.

Для подрібнення сипкої сировини на сьогодні існує велике різноманіття млинів. Для тонкого подрібнення найбільш поширені подрібнювачі стирючо-роздавлюючої дії (жорнові подрібнювачі, бігуни, катково-тарілчасті млини, кульково-кільцеві млини, бісерні млини), ударної дії (бильні млини, шахтні млини, дезінтегратори і дісємбратори, відцентрові, барабанні та газоструйні млини) та ударно-стираючої дії (вібраційні, планетарні, гігроскопічні млини, колоїдні, віброкавітаційні млини та ін.)

Принцип раціональної організації дроблення та подрібнення з енергетичних позицій передбачає руйнування багатокомпонентного матеріалу переважно по поверхні розділу

фаз. Найбільш повно цей процес може бути реалізований у машинах і пристроях вібраційного типу.

Вібраційні млини найчастіше забезпечуються відцентровим віброзбудником. Залежно від розташування помольної камери у просторі всі вібромлини поділяють на горизонтальні, вертикальні та похилі. У горизонтальних млинах подрібнення матеріалу відбувається в результаті ударного та стираючого впливу подрібнювального тіла. Тому при подрібненні міцних та абразивних матеріалів у продукті подрібнення може міститись значна кількість домішок від намелу тіл подрібнення і футерування. У вертикальних млинах переважає ударний характер контактування подрібнювальних тіл, а стираюча взаємодія є мінімальною. Своєю чергою організувати безупинний процес подрібнювання в горизонтальних вібромлинах простіше, ніж у вертикальних. Крім того, по можливості обертання робочого органу всі вібромлини можуть бути розділені на дві групи: млини з нерухомою помольною камерою та млини з камерою, що обертається. Незважаючи на очевидні переваги вібраційних млинів з камерою помелу, що обертається, технічна реалізація окремих елементів та конструкції млина загалом стикається зі значними проблемами [4–7].

Розроблення і визначення оптимальних режимів роботи вібраційного млина дасть змогу енергоефективно та якісно проводити процес подрібнення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вібраційні млини одержали широке застосування в будівельній, гірничорудній, металургійній, харчовій, хімічній і інших галузях промисловості. Це пов'язано з тим, що застосування вібраційних млинів, порівняно з іншими подрібнювачами, дозволяє зменшити втрати електроенергії, підвищити продуктивність, зменшити знос помольних тіл, використовувати технологічний наповнювач з різних матеріалів, досягти високої тонини помелу, одержати чистіший кінцевий продукт, проводити процес подрібнення у вакуумі, в інертному середовищі, за різних температур.

Продуктивність вібраційних млинів залежить від багатьох чинників. Із досліджень і практики відомо, що визначальними чинниками продуктивності є частота вібрацій і амплітуда. Із збільшенням частоти вібрацій продуктивність наростає майже лінійно. Підвищення амплітуди дозволяє поширювати розмелювальні імпульси від внутрішніх стінок помольної труби на більшу частину її робочого об'єму [8–10].

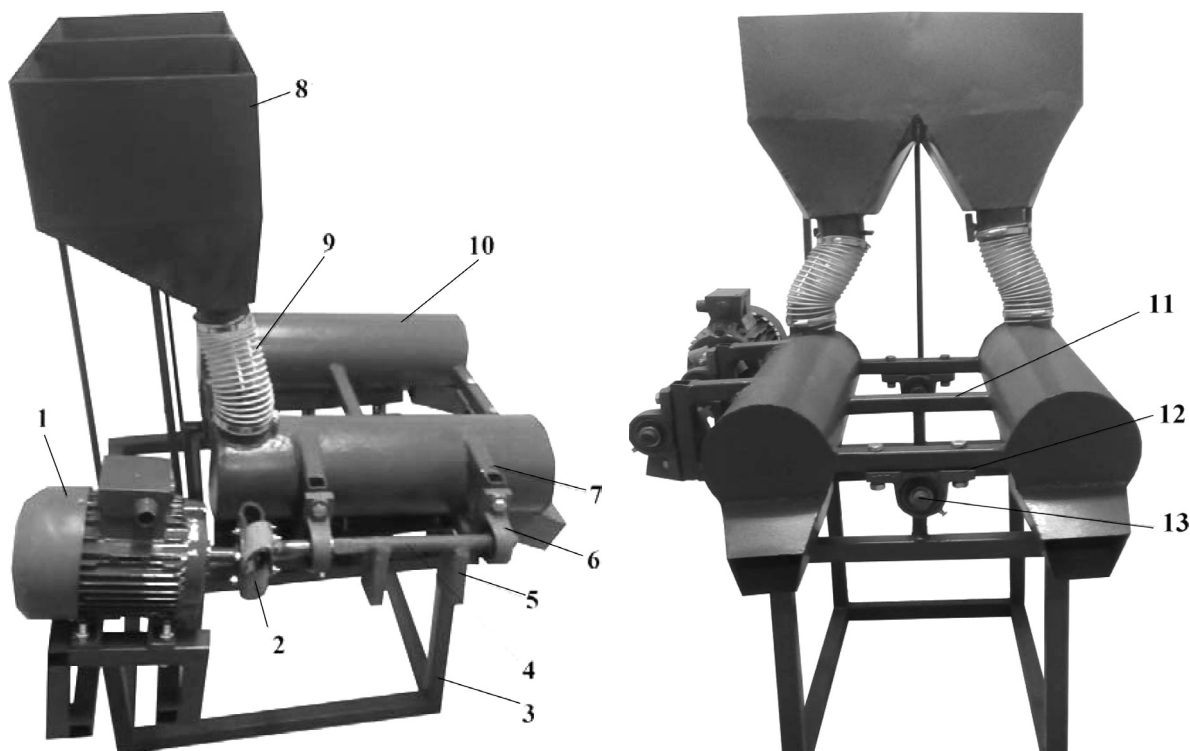
Також чим ширший спектр впливу на оброблюваний матеріал, тим більш інтенсивніше проходить подрібнення, а одночасно й активація матеріалу. Механоактивація сприяє генерації більш розчинних поліморфних модифікацій і деструкції кристалічної ґратки матеріалу до цілковитої її аморфізації.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розроблена конструкція млина кутових коливань за рахунок переферійного розміщення джерела вібрації на опозитно розміщених помольних камерах дозволяє зменшити енерговитрати під час пуску та експлуатації дослідної машини. Також при такому русі підвищується силовий вплив технологічного наповнювача на оброблюваний матеріал, що приводить до збільшення продуктивності машини та якості продукту.

Вібраційний двосекційний млин дає можливість підвищити ступінь руйнування часток мінеральної сировини і, як наслідок, інтенсифікувати процес подальшого розчинення в субстраті. Розроблений млин кутових коливань показано на рис. 1.

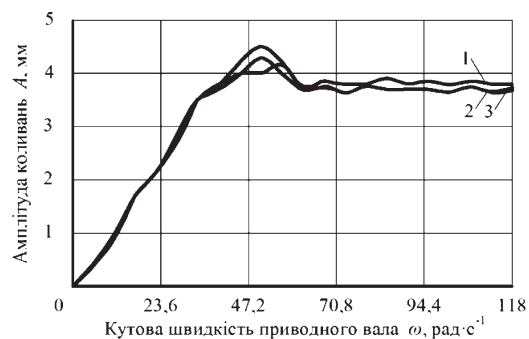
Млин кутових коливань складається з електродвигуна **1**, рух від якого через муфту **2** передається приводному валу **4**, на якому розміщені дебаланси **5**. Приводний вал опирається на підшипникові вузли **6**, які прикріплені до стояків **7**. Помольні камери **10** спираються на стояка і з'єднані між собою за допомогою траверси **11**. До траверс прикріплені підшипникові вузли **12** із центральною віссю **13**. Сипкий матеріал завантажується із завантажувальних бункерів **8** через живильні патрубки **9** у помольні камери **10**, які попередньо наповнені помольними тілами, у вигляді куль. Уся конструкція змонтована на станині **3**.

Результати досліджень амплітудно-частотних, швидкісних та енергетичних характеристик виконавчого органу подані на рис. 2.



**Рисунок 1** — Вібраційний млин кутових коливань:

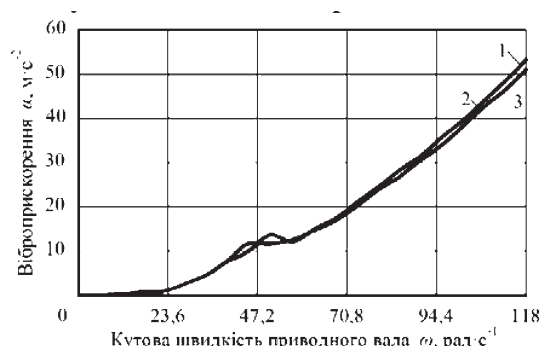
- 1 — електродвигун; 2 — еластична муфта; 3 — станина; 4 — приводний вал; 5 — дебаланси; 6 — підшипникові вузли віброприводу; 7 — стояки; 8 — завантажувальний бункер; 9 — живильні патрубки; 10 — помольні камери; 11 — траверси; 12 — підшипниковий вузол центральної осі; 13 — вісь



**Амплітуда коливань залежно від кутової швидкості приводного вала**



**Віброшвидкість залежно від кутової швидкості приводного вала**



**Віброприскорення залежно від кутової швидкості приводного вала**



**Енерговитрати залежно від кутової швидкості приводного вала**

**Рисунок 2** — Амплітудно-частотні, швидкісні та енергетичні характеристики виконавчого органу: 1 — без технологічного наповнювача; 2 — при завантаженні контейнера на  $\frac{1}{2}$  від його повного об'єму; 3 — при завантаженні контейнера на  $\frac{3}{4}$  від його повного об'єму

Дослідження кінематичних характеристик млина кутових коливань дозволили встановити ефективність розробленої конструкції в контексті мінімізації дисипативних властивостей досліджуваної вібростеми. Дана тенденція зумовлена наявністю периферійно розміщеного приводного вала відносно опозитно розміщених помольних камер млина, примусова сила якого значно переважає інерційні характеристики технологічного наповнювача.

**Висновки.** Доведено необхідність переробляти відходи тваринництва і птахівництва в якісні органічно-мінеральні добрива. Для механоактивації і кращого розчинення мінералів у субстраті розроблено вібраційний двосекційний млин кутових коливань, у якому за рахунок конструктивного виконання зменшені енерговитрати під час пуску та експлуатації. Також кутові коливання помольних камер дозволяють досягти сталу тонину помелу і додатково механоактивувати оброблюваний матеріал.

### Список літератури / References

1. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України. Мінагрополітики, Центрдержродючість, НААНУ, ННЦ ІГА імені О. Н. Соколовського, Київ : НУБіП, 2010. Ministry of Agrarian Policy of Ukraine (2010). *Natsionalna dopovid pro stan rodyuchosti gruntiv Ukrainu* [National report on soil fertility in Ukraine]. Kuiv, NUBIP Publ.
2. Бортнік А. М., Бортнік Т. П., Ковальчук Н. С., Демчук С. М. Застосування сучасних нетрадиційних органічних добрив для підвищення біопродуктивності ґрунтів на радіоактивно забруднених територіях. *Біологічні системи. Біологія: науковий вісник Чернівецького університету*. 2012. Том 4, № 3. С. 247–251.  
Bortnik, A., Bortnik, T., Kovalchuk, N., Demchuk, S. (2012). *Zastosuvannya suchasnuh netradutsiinuh organichnuh dobruv dlya pidvushchennya bioproductyvnosti gruntiv na radioaktivno zabrudnenuh terutoriyah* [Application of modern non-traditional organic fertilizers for increasing the biological productivity of soils in radioactive contaminated territories]. *Biologichni systemy. Biologhiia: naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu* [Biological systems. Biology: scientific bulletin of Chernivtsi University], vol. 4 (3), pp. 247–251.
3. М'ягка В. М., Деркач С. М., Волкогон В. В., Луценко Н. В. Сукцесії мікроорганізмів у процесі компостування курячого посліду. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2014. Вип. 20. С. 41–48.  
Myagka, V., Derkach, S., Volkogon, V., Lutsenko, N. (2014). *Suktsesii mikroorganizmiv u protsesi kompostuvannya kuryachogo poslidu* [The succession of microorganisms in the process of composting chicken litter]. *Silskohospodarska mikrobiologhiia* [Agricultural Microbiology], no. 20, pp. 41–48.
4. Солоня О. В., Білик Д. А. Вібраційні млини для помелу сипких матеріалів сільськогосподарського виробництва. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2013. №2 (70). С. 196–199.  
Solona, O., Bilyk, D. (2013). *Vibratsiini mlyny dlia pomelu syprykh materialiv silskohospodarskoho vyrobnytstva* [Vibrating mills for grinding bulk materials of agricultural production]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnologhiakh* [Vibration in technology and technology], no. 2 (70), pp. 196–199.
5. Єгоров Б. В., Шаповаленко О. І., Макаринська А. В. Технологія виробництва преміксів. Київ : ЦУЛ, 2007. 288 с.  
Yehorov, B., Shapovalenko, O., Makarynska, A. (2007). *Tekhnologhiia vyrobnytstva premiksiv* [Production technology of premixes]. Kyiv, TSUL Publ., 288 p.
6. Ланець О. С. Розвиток міжрезонансних машин з електромагнітним приводом / О. С. Ланець // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. — 2008. — Вип. 42. — С. 3–18.  
Lanets, O. (2008). *Rozvytok mizhrezonansnykh mashyn z elektromahnitnym pryvodom* [Development of interreonance machines with electromagnetic actuator]. *Avtomatyzatsiia vyrobnychykh protsesiv u mashynobuduvanni ta pryladobuduvanni* [Automation of manufacturing processes in mechanical engineering and instrumentation], no. 42, pp. 3–18.
7. Ткаченко, С. Й., Янович В. П., Любін М. В., Сосновська Л. В. Розробка технологічної схеми вібраційного млина для виробництва органо-мінеральних добрив. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018. № 2 (89). С. 58–66.

Tkachenko, S., Yanovych, V., Liubin, M., Sosnovska, L. (2018). *Rozrobka tekhnolohichnoi vibratsiinoho mlyna dlia vyrobnytstva orhano-mineralnykh dobryv* [Development of the technological scheme of the vibrating mill for the production of organo-mineral fertilizers]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh* [Vibration in technology and technology], no. 2 (89), pp. 58–66.

8. Букін С. Л., Букіна А. С. Нова конструкція бігармонійного вібромлина для тонкого подрібнення різноманітних матеріалів. *Збагачення корисних копалин*. 2012. Вип. 50 (91). С. 60–65.

Bukin, S., Bukina, A. *Nova konstruktsiya bigarmoniinoho vibromlyna dlya tonkogo podribneniya riznomanitnykh materialiv* [New design of a biharmonic vibromeline for fine grinding of various materials]. *Zbahachennia korysnykh kopalyn* [Enrichment of minerals], no. 50 (91), pp. 60–65.

9. Янович В. П., Полевода Ю. А., Токарчук О. А. Розробка вібраційного млина для виробництва ентеро- та імуносорбційного глауконітового порошку. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2016. № 2 (82). С. 124–130.

Yanovich, V., Polevoda Yu., Tokarchuk, O. (2016). *Rozrobka vibratsiinoho mlyna dlya vyrobnytstva energo- ta imunosorbtsiinoho ukaukonitovogo poroshku* [Development of a vibrating mill for the production of entero- and immunosorbent glauconite powder]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh* [Vibration in technology and technology], no. 2 (82), pp. 124–130.

10. Чубик Р. В. Модель адаптивного вібромлина із просторово-циркуляційним рухом завантаження. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. 2011. Вип. 45. С. 241–248.

Chubuk, R. (2011). *Model adaptivnoho vibromlyna iz prostоровo-tsurkulyatsiinum ruhom zavantazheniya* [Adaptive Vibromelin model with spatial circulation circulation movement]. *Avtomatyzatsiia vyrobnychkh protsesiv u mashynobuduvanni ta pryladobuduvanni* [Automation of manufacturing processes in mechanical engineering and instrumentation], no. 45, pp. 241–248.

**Цель** — разработка вибрационной мельницы для измельчения и механоактивации минералов для их дальнейшего растворения в субстрате и исследования амплитудно-частотных, скоростных и энергетических характеристик исполнительного органа мельницы.

**Методы.** В работе использованы методы анализа и синтеза, системный и сравнительный анализ, расчет эквивалентного скорректированного значения по измеренному значению и данным хронометража.

**Результаты.** Описана проблема загрязнения окружающей среды в результате накопления отходов животноводства и птицеводства. Приведена целесообразность переработки отходов в биогазовой установке для получения двух качественных продуктов: биогаза и переработанного субстрата. Последний целесообразно использовать как органическую составляющую для производства органо-минерального удобрения. Как минеральные добавки использованы ракушечник и глауконит. Для измельчения минералов разработана вибрационная двухсекционная мельница угловых колебаний, которая обеспечивает сверхтонкое измельчение и активацию премиксов, за счет передачи вибрационного движения от периферийно расположенного источника вибрации к оппозитно размещенным помольным камерам. Вибрационный двухсекционный мельница дает возможность повысить степень разрушения частиц минерального сырья и интенсифицировать процесс дальнейшего растворения в субстрате. Приведенные результаты исследования амплитудно-частотных, скоростных и энергетических характеристик исполнительного органа с различной величиной загрузки контейнера. Результаты кинематического исследования работы исполнительного органа вибрационной машины определяют оптимальную угловую скорость приводного вала и устанавливают эффективность разработанной конструкции вибрационной мельницы угловых колебаний.

**Ключевые слова:** премиксы, вибрационная мельница, измельчение, механоактивация, амплитуда колебания, виброускорение, виброскорость, энергозатраты, биотехнологический наполнитель, мельница угловых колебаний.

**Objective.** The main objective is to develop a vibrating mill for grinding and mechanoactivation of minerals for their further dissolution in the substrate and to study the amplitude-frequency, velocity and energy characteristics of the mill's executive body.

**Methods.** *The method of analysis, synthesis, system analysis and comparative analysis, calculation of the equivalent corrected value from the measured value and timing data are used in the work.*

**Results.** *The problem of environmental pollution as a result of accumulation of livestock and poultry waste is described. The expediency of recycling waste in a biogas plant is given for obtaining two qualitative products: biogas and perverted substrate. The latter is expedient to use as an organic component for the production of organic-mineral fertilizers. As mineral additives, shellfish and gluconate are used. For crushing minerals, a vibrating two-section mill of angular oscillation has been developed, which provides for fine-grained crushing and activation of premixes, due to the transfer of vibrational motion from a peripherally located vibration source to optically placed grinding chambers. The vibrating two-section mill makes it possible to increase the degree of destruction of mineral particles and to intensify the process of further dissolution in the substrate. The results of the study of amplitude-frequency, speed and power characteristics of the executive body with different loading rates of the container are given. The results of the kinematic study of the work of the executive body of the vibration machine determine the optimal angular velocity of the drive shaft and determine the effectiveness of the design of the vibration mill of the angular oscillations.*

**Key words:** *premixes, vibration mill, grinding, mechanical activation, oscillation amplitude, vibration acceleration, vibration speed, energy consumption, biotechnological filler, mill of angular oscillations.*