

УДК 621.926.5

**ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ ШАРОВАЯ МЕЛЬНИЦА С ВАКУУМНЫМ  
ОТВОДОМ ЧАСТИЦ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СУХОГО  
РАСТИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА**

**Родионов Ю.Ю.**

аспирант

[five-elements90@mail.ru](mailto:five-elements90@mail.ru)

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Чумиков Ю.А.**

студент

**Родионов Ю.В.**

доктор технических наук, профессор

[rodionow.u.w@rambler.ru](mailto:rodionow.u.w@rambler.ru)

**Скоморохова А.И.**

магистрант

[nasta373@mail.ru](mailto:nasta373@mail.ru)

Тамбовский государственный технический университет

г. Тамбов, Россия

**Аннотация.** В результате исследований установлено, что для измельчения наиболее эффективно использовать двухступенчатую шаровую мельницу, так как она позволяет получать порошок с заданной степенью помола. Предложено транспортировать частицы растительного материала с применением вакуума, создаваемого жидкостнокольцевым вакуумным насосом, тем самым снижая количество энергии, затрачиваемой на процесс измельчения.

**Ключевые слова:** измельчение, шаровая мельница, растительный материал, отвод частиц, порошок.

Применение порошков, полученных из высушенного растительного материала, способствует расширению ассортимента фармацевтической, сельскохозяйственной и пищевой промышленности. Добавки, изготовленные на их основе, обогащают продукты различными питательными веществами, улучшающими иммунитет и способствующими общему поддержанию здоровья организма, а также оказывающими профилактическое действие.

При использовании в качестве добавки растительного порошка, одним из важнейших критериев, влияющих на качество будущей продукции, является степень помола растительного материала. Для достижения требуемых размеров частиц целесообразно использовать двухступенчатую шаровую мельницу, которая позволит осуществлять измельчение с заданной степенью помола и последующим вакуумным отводом растительных частиц [1, 2].

Для выполнения расчетов при проектировании двухступенчатой шаровой мельницы были использованы законы теории течения газов, прикладной механики, а также теории измельчения [3, 4].

Конструкция мельницы представлена на рисунке 1. Это цилиндроконическая обечайка, расположенная на впускающем патрубке 1 и выпускающем патрубке 2, которые являются валами, служащими в качестве опоры. Выпускающий патрубок – это заборное устройство, имеющее перфорированное коническое окончание. На обоих валах расположены подшипники качения 3. На левом валу (впускающем патрубке) периодически размещается жиклер 4, который меняется в зависимости от создаваемого давления разрежения, а значит, и степени помола частиц. Перфорированная сетка 5 разделяет цилиндрическую и коническую секции. Шары, расположенные в цилиндрической секции, 6 имеют больший диаметр в сравнении с шарами, размещенными в конической части 7.

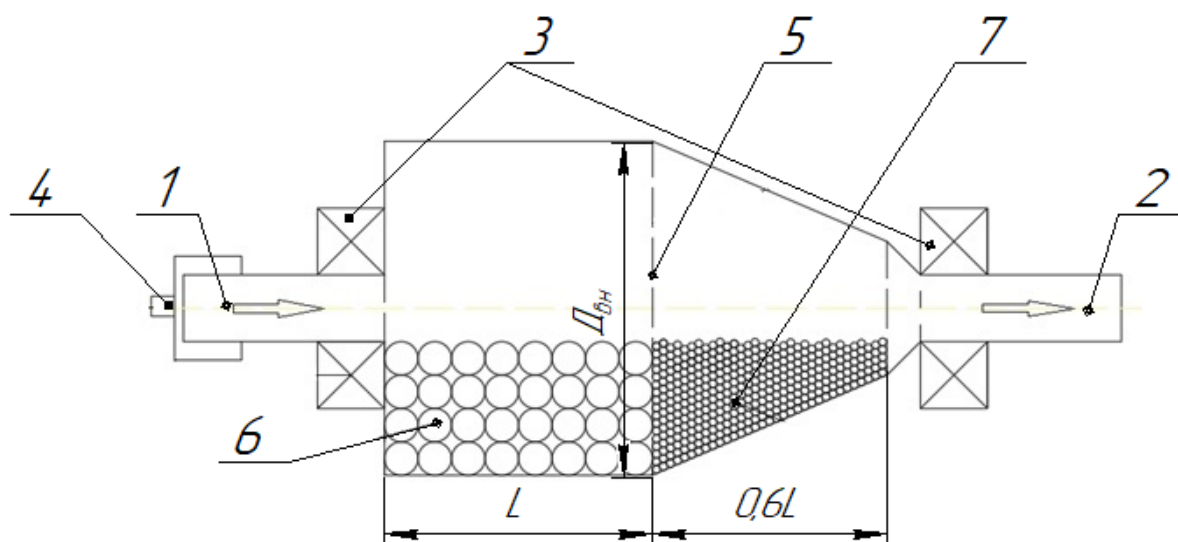


Рисунок 1 – Конструкция шаровой мельницы: 1 – впускающий патрубок; 2 – выпускающий патрубок; 3 – подшипники качения; 4 – жиклер; 5 – решетка перфорированная; 6 – шары большего диаметра; 7 – шары меньшего диаметра

Производительность данной мельницы зависит от таких факторов как физические свойства измельчаемого растительного материала, его размеры, конструкции, размеры и формы футеровки самой мельницы, условия эксплуатации, конструкция дискового измельчителя, а также частоты вращения и степень заполнения мельницы мелющими телами. Большое количество факторов осложняет расчеты при проектировании такой мельницы, используя теоретические формулы, поэтому данную задачу целесообразно решать, основываясь на данные, полученные экспериментальным путем на опытных установках при режимах работы, максимально приближенных к оптимальным [5].

На производительность процесса измельчения особое влияние оказывает удаление измельченных частиц. Данную функцию выполняет вакуумный транспортер, входящий в полную схему установки, представленной на рисунке 2. Дисковый измельчитель 1 предварительно измельчает растительный материал, после чего полученные частицы поступают в бункер-накопитель 2, затем они транспортируются на вторую ступень измельчения – шаровую мельницу, состоящую из двух частей. Благодаря создаваемому

жидкостнокольцевым вакуумным насосом 5 разряжению полученный порошок переправляется в циклон-накопитель 4.

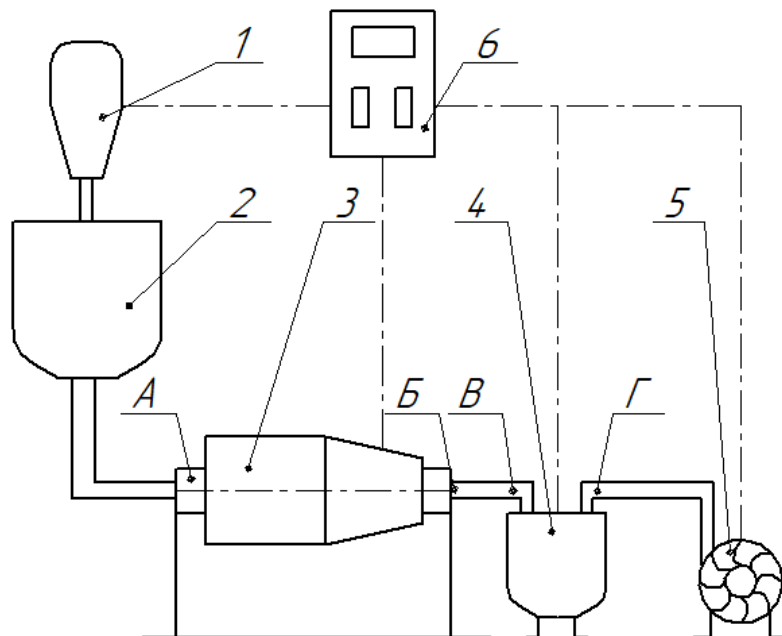


Рисунок 2 – Эскиз полной установки: 1 – измельчитель дисковый; 2 – бункер-накопитель; 3 – мельница; 4 – циклон-накопитель; 5 – вакуумный насос; 6 – панель управления

Транспортная система с применением вакуума разделена на четыре участка: А – всасывание; Б – установившееся течение материала; В – торможение; Г – удаление воздушной смеси [6].

Применяемый жидкостнокольцевой вакуумный насос выбирается в зависимости от быстроты действия, исходя из производительности всей установки и задаваемой степени помола. После чего необходимо вычислить мощность, потребляемую всей конструкцией [6, 7, 8].

Экспериментальные исследования показали, что использование двухступенчатой шаровой мельницы позволяет производить измельчение растительного материала наиболее эффективно, так как имеется возможность получать порошок с заданной степенью помола, а шары, входящие в конструкцию мельницы осуществляют непрерывное разрыхление сыпучего материала.

Кроме того, использование вакуума в транспортной системе способствует уменьшению энергозатрат, приходящихся на измельчение.

### Список литературы:

1. Родионов Ю.В., Ломакина О.В., Никитин Д.В., Чумиков Ю.А., Ратушный А.С., Данилин С.И., Родионов Ю.Ю. Проблемы и перспективы производства растительных порошков // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. – №1. – С. 69-77.
2. Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Данилин С.И., Митрохин М.А., Утешев М.В., Мочалин Н.Н., Родионов Ю.Ю. Технология переработки пастернака, тыквы и яблок в порошки для функционального питания // Проблемы развития АПК региона. – 2018. – № 3 (35). – С. 214-220.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя: пер. Г. А. Вольперта с 5-го нем. изд. под ред. Л. Г. Лойцянского. – М.: «Наука», 1969. – 742 с.
4. Ходаков, Г. С. Физика измельчения: монография. – М.: «Наука», 1972. – 306 с.
5. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: ООО ТИД "Альянс", 2004. – 753 с.
6. Родионов Ю.В., Капустин В.П., Кобелев А.В., Никитин Д.В., Платицин П.С. Повышение эффективности механизации транспортирования сухих сыпучих растительных материалов // Инновационная техника и технология. – 2017. – № 1 (10). – С. 9-15.
7. Исследование параметров устройства выгрузки вертикальных компостирующих установок / М.С. Колдин, В.В. Миронов, К.А. Манаенков // Вестник сельского развития и социальной политики. - 2017. - № 2 (14). - С. 24-30.
8. Shcherbakov S.Yu. Drying hawthorn berries in drum dryer using blade agitator / S.Yu. Shcherbakov, P.S. Lazin, I.P. Krivolapov // Amazonia Investiga. - 2019. - Т. 8. - № 21. - С. 588-595.

UDC 621.926.5

**TWO-STAGE BALL MILL WITH VACUUM PARTICLE DRAINING  
FOR CRUSHING DRIED PLANT MATERIAL**

**Rodionov Yu.Yu.**

graduate student

[five-elements90@mail.ru](mailto:five-elements90@mail.ru)

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Chumikov Yu.A.**

student

**Rodionov Yu.V.**

Doctor of Technical Sciences, Professor

[rodionow.u.w@rambler.ru](mailto:rodionow.u.w@rambler.ru)

**Skomorokhova A.I.**

undergraduate

[nasta373@mail.ru](mailto:nasta373@mail.ru)

Tambov State Technical University

Tambov, Russia

**Annotation.** It was found that a two-stage ball mill is most effective for grinding, since it allows you to obtain powder with a given degree of grinding. In addition, there is a continuous loosening of the bulk material by the balls included in the structure. It is proposed to transport plant material particles using a vacuum generated by a liquid ring vacuum pump, thereby reducing the amount of energy spent on the grinding process.

**Key words:** grinding, ball mill, plant material, removal of particles, powder.

