

УДК 621.926

**А. С. Дорогокупец**, магистр технических наук,  
заместитель главного механика (РУП «Белмедпрепараты»);  
**В. С. Францкевич**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

### ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА СРЕДНЕХОДНОЙ МЕЛЬНИЦЫ НА ЭНЕРГОЗАТРАТЫ

В процессе работы технологического оборудования, которое в качестве транспортирующего агента использует газовую среду, определяющее влияние на удельные энергозатраты оказывает аэродинамическое сопротивление аппарата. Для анализа аэродинамического сопротивления оборудования смоделирован помольный агрегат в комплексе с динамическим классификатором и проведены аналитические исследования в программном комплексе ANSYS/CFX с построением графо-аналитических зависимостей.

In the process of technological equipment, which as a transporting agent uses a gaseous medium, a decisive influence on the specific energy consumption has a drag machine. For the analysis of drag equipment modeled grinding unit in conjunction with a dynamic classifier and analytical studies conducted in the software package ANSYS/CFX with the construction of the graph-analytical relationships.

**Введение.** На предприятиях фармацевтической отрасли одной из стадий получения готового продукта является процесс измельчения материала: приготовление таблеточных масс, измельчение субстанций, полупродуктов и др.

Как правило, промышленные мельницы используются в комплексе с классифицирующими устройствами (классификаторами и сепараторами) [1, 2]. Это необходимо в связи с тем, что после измельчения в конечном продукте содержатся частицы, не всегда удовлетворяющие требованиям эффективного протекания последующих технологических процессов. Поэтому зачастую на предприятиях фармацевтической отрасли прибегают к повторному измельчению и проводят процесс до достижения необходимого гранулометрического состава продукта. Это может приводить к переизмельчению, что недопустимо, а также увеличению удельных энергозатрат.

В Республике Беларусь среднеходные мельницы стали внедряться в различных технологиях относительно недавно. Они характеризуются низкими удельными энергозатратами и высокой производительностью и применяются для сухого помола с организацией замкнутого цикла. Среднеходные мельницы широко используются в производстве цемента, извести, гипса, доломита и др. Анализ их работы показывает, что применение подобного рода оборудования в фармацевтической отрасли также экономически целесообразно.

Учитывая перспективность использования в промышленности Республики Беларусь, в том числе и на предприятиях фармацевтической отрасли, данного типа оборудования, объектом исследования выбран помольный агрегат с среднеходной валковой мельницей и воздушным классификатором. В качестве последнего ис-

пользован динамический классификатор с ротором в виде усеченной конической корзины.

Целью работы является анализ влияния технологических параметров динамического сепаратора среднеходной валковой мельницы на энергозатраты.

**Основная часть.** Для проведения анализа влияния технологических параметров классификатора на энергетическую эффективность работы помольного агрегата было использовано компьютерное моделирование в программном комплексе ANSYS/CFX. С целью реализации возможностей указанной программы в САД приложении SolidWorks был смоделирован помольный агрегат с реальными геометрическими размерами (рис. 1) [3].

Внутренний диаметр корпуса мельницы – 350 мм, высота мельницы – 550 мм, количество валков – 2, средний диаметр валков – 160 мм, диаметр размольной тарелки – 300 мм, внутренний диаметр корпуса динамического сепаратора – 400 мм, высота – 305 мм, усредненный диаметр ротора – 315 мм, высота ротора – 270 мм.

Помольный агрегат состоит из пульта управления 1 (рис. 1) для контроля и регулирования процессом измельчения и классификации, опоры 2 на которой закреплен щит управления с частотными преобразователями, непосредственно среднеходной валковой мельницы 3, динамического классификатора 4 (рис. 2). Для улавливания готового продукта служит рукавный пылеуловитель 5.

Динамический классификатор представляет собой цилиндрический корпус 1 (рис. 2), внутри которого, расположена коническая корзина 5 с наклонными лопатками с увеличением диаметра по высоте классификатора, что позволяет равномерно конструктивно перекрыть выходное сечение классификатора.

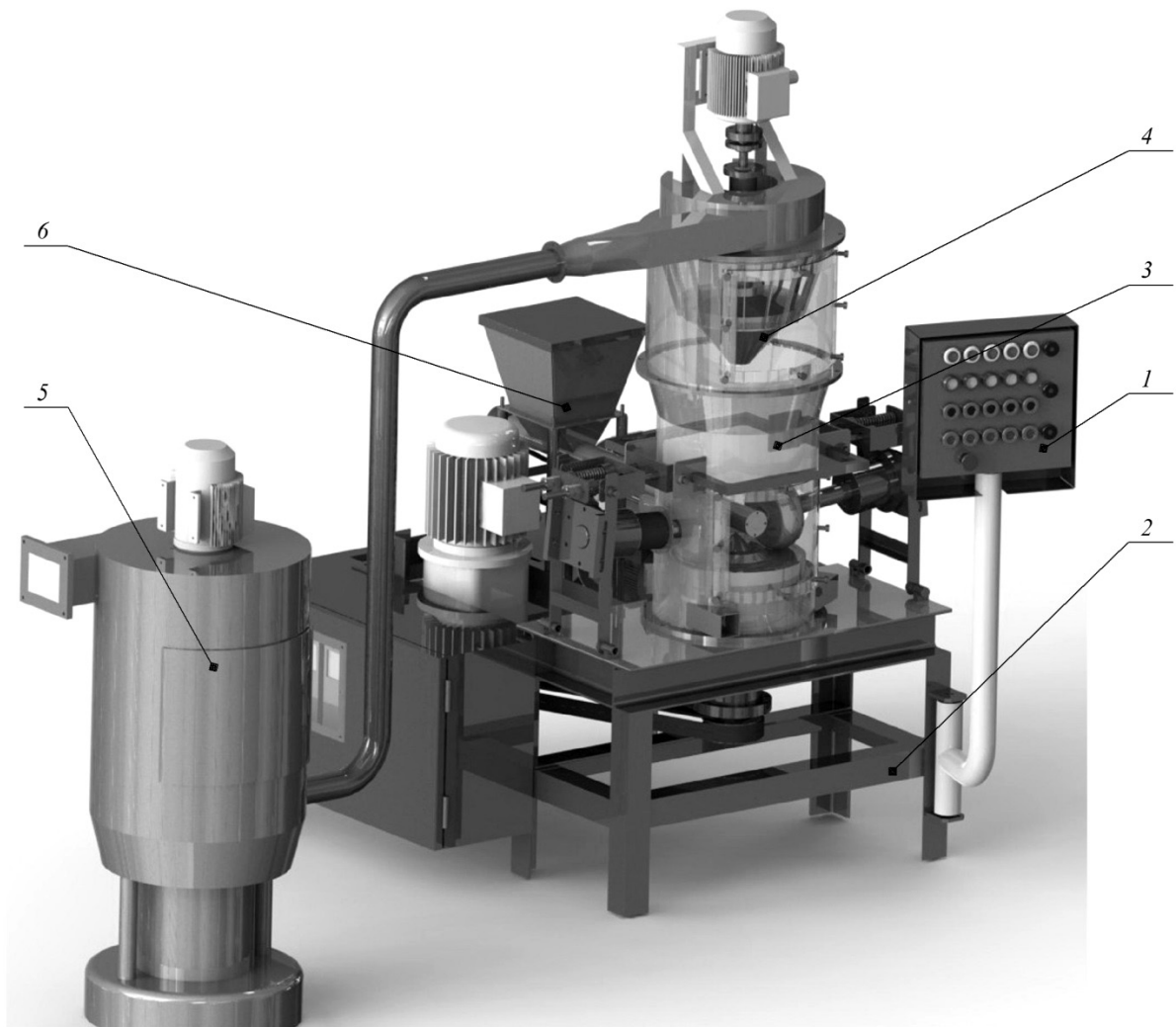


Рис. 1. Помольный агрегат:  
1 – пульт управления; 2 – опора; 3 – мельница; 4 – динамический классификатор;  
5 – рукавный пылеуловитель, 6 – шнековый питатель

Ротор корзины вращается при помощи электродвигателя 3. Измельченный и прошедший классификацию продукт выносятся газовым потоком из помольного агрегата.

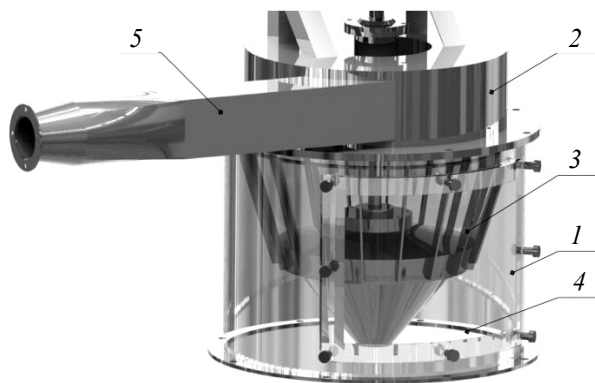


Рис. 2. Динамический классификатор:  
1 – корпус классификатора; 2 – крышка;  
3 – корзина классификатора; 4 – смотровое окно;  
5 – материальный патрубок

Помольный агрегат работает следующим образом (рис. 3): предварительно подготовленное исходное сырье подается в загрузочный бункер шнекового питателя и далее питателем на конус размольной тарелки, где равномерно распределяется по ней под действием центробежных сил, вызванных вращением тарелки. Затем материал попадает под размольные валки и разрушается за счет раздавливания и частично истирания. Транспортирующими агентами в помольном агрегате могут быть воздух (в некоторых случаях в смеси с инертным газом) или дымовые газы в случае организации сушки материала.

Измельченный и «провалившийся» материал увлекается воздушным закрученным потоком и по мере продвижения вертикально вверх вдоль помольного агрегата попадает в сепарационное пространство динамического классификатора, где в зависимости от требуемой дисперсности продукта с определенной скоростью вращается ротор корзины.

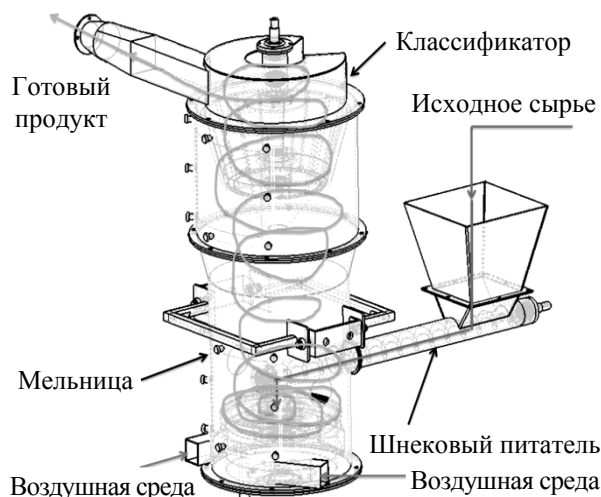


Рис. 3. Схема работы помольного агрегата

Отделившаяся фракция требуемого гранулометрического состава через материальный патрубок поступает в сборник готовой продукции, в качестве которого является рукавный пылеуловитель. Крупная фракция возвращается обратно на размольную тарелку на доизмельчение.

Как было указано ранее, для проведения анализа влияния технологических параметров на эффективность работы помольного агрегата из-за сложности исследуемого процесса было использовано компьютерное моделирование в программном комплексе ANSYS/CFX.

В качестве исходных параметров для расчета задавались: частота вращения тарелки –  $100 \text{ мин}^{-1}$ , массовый расход газа на входе –  $0,2 \text{ кг/с}$  (т. е. компоновка системы, обеспечивающая нахождение вентилятора после помольного агрегата).

Варьируемыми параметрами для определения влияния технологических параметров на энергозатраты работы помольного агрегата принимались скорость и направление вращения ротора сепарационного устройства. Направление вращения задавалось по ходу движения основного газового потока и в противоположную сторону. Его частота вращения изменялась ступенчато и была равна 300, 500 и 750 об/мин, что соответствовало линейной скорости по усредненному диаметру ротора 10, 16 и 25 м/с.

Результаты расчетов представлены в виде графических зависимостей распределения скоростей в сечении корзины сепаратора, проходящем по усредненному диаметру ротора корзины (рис. 3).

Принимая во внимание тот факт, что структура воздушного потока в сечении помольного агрегата не симметрична относительно центральной оси, т. е. скорости воздушного потока

изменяются не равномерно и хаотично, что связано с нахождением внутри аппарата размольных элементов и материального патрубка, анализ скорости производился в четырех направлениях (рис. 4).

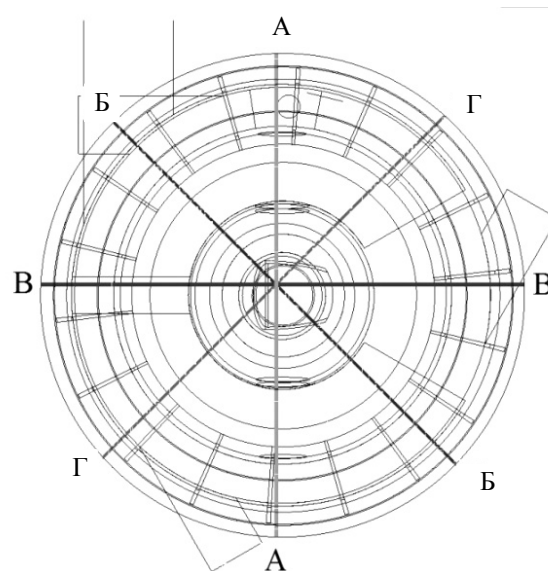


Рис. 4. Схема анализа воздушного потока

Анализ графических зависимостей показывает, что наиболее равномерное распределение скорости достигается при попутном вращении газового потока и корзины сепаратора, особенно со скоростью 10 и 16 м/с (рис. 5, зависимости 1 и 2). Причем по периферийной зоне лопаток скорость максимальна (до 12 м/с), что обеспечивает проникновение через лопасти ротора частиц большого размера. При скорости вращения 25 м/с в роторе увеличивается «вентиляторный» эффект и зона высоких скоростей смещается на внутренние кромки лопастей. В этом случае сепарируемые частицы будут иметь меньший размер.

При встречном вращении ротора поток воздуха по сечению распределяется крайне неравномерно. Скорость вращения 10 м/с в принципе обеспечивает такую радиальную составляющую, которая позволит частицам проникнуть в центральное сечение ротора, однако в зоне вблизи оси симметрии скорость газового потока резко снижается вплоть до нулевых значений.

В результате существует возможность накопления частиц в осевой зоне ротора и их случайный выброс за счет ударного воздействия лопастей без четкой сепарации.

Это препятствует прохождению частиц материала между лопастями. Высокоскоростные вихри появляются только непосредственно на тыльной стороне лопастей при огибании их газовым потоком.

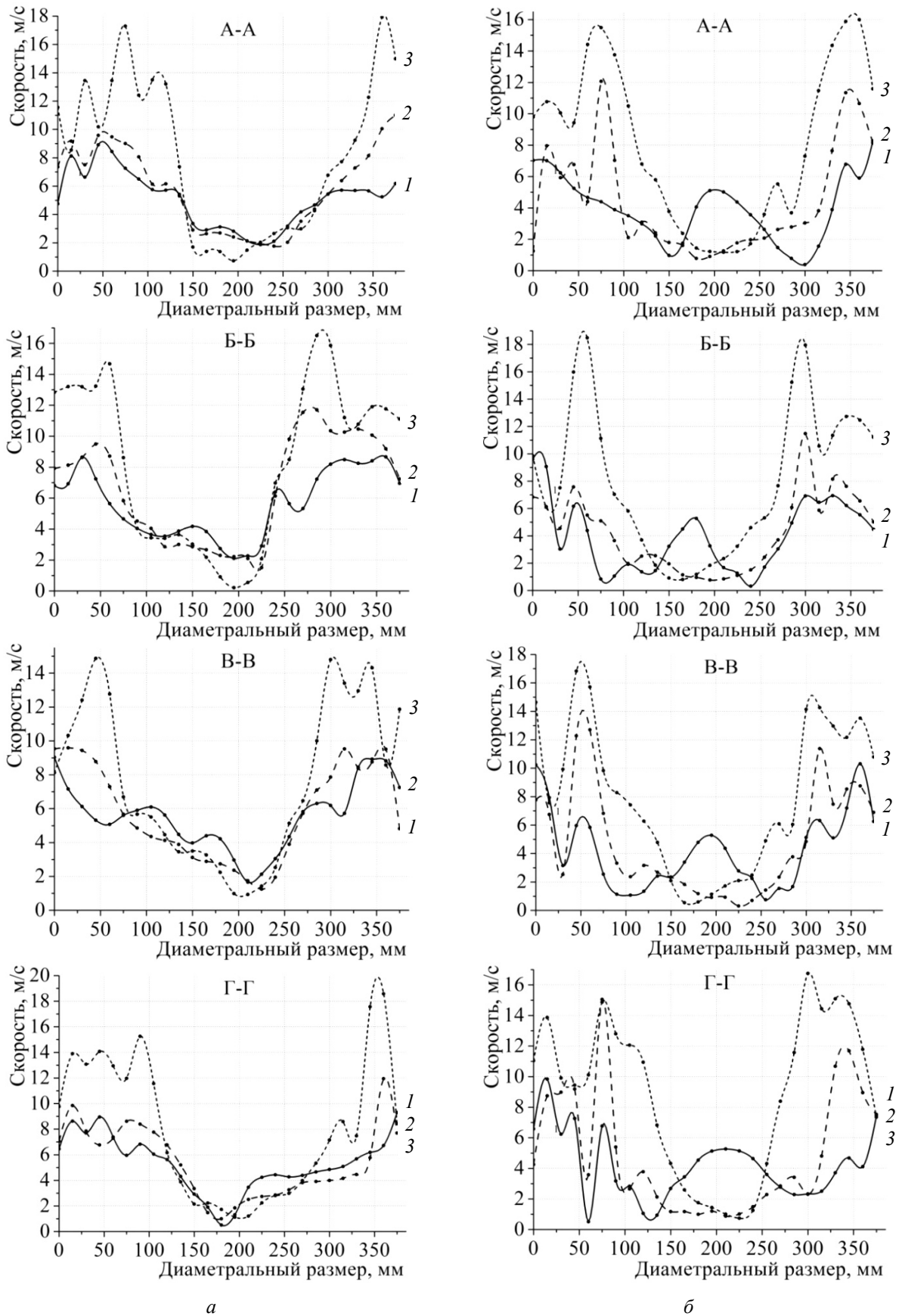


Рис. 5. Графики распределения скоростей воздушного потока в сечении корзины сепаратора:  
 а – попутное направление вращения; б – противоположное направление вращения;  
 1 – скорость вращения ротора корзины 10 м/с; 2 – 16 м/с; 3 – 25 м/с

Технологическое оборудование, в качестве материальных потоков которого используется воздушная либо другая газовая среда, характеризуется наличием аэродинамического сопротивления, по величине которого можно судить об удельных энергозатратах на процесс классификации, что в итоге определяет экономическую целесообразность тех либо иных производственных процессов.

Поэтому с использованием программного комплекса ANSYS CFX был проведен анализ аэродинамического сопротивления динамического воздушного классификатора при различных скоростях вращения ротора корзины. Сразу было отмечено, что при вращении корзины в направлении, противоположном вращению потока, происходит стремительное увеличение гидравлического сопротивления. Так, при линейной скорости ротора 25 м/с аэродинамическое сопротивление составляет около 2750,0 Па, что на 35% больше, чем при попутном направлении вращения, причем с увеличением скорости вращения ротора корзины эта разница значительно возрастает. При попутном направлении вращения ротора аэродинамическое сопротивление классификатора по мере увеличения частоты вращения повышается незначительно, а после достижения линейной скорости около 15 м/с начинает медленно уменьшаться, что связано с появлением «вентиляторного» эффекта на высоких скоростях вращения ротора.

Мощность, затрачиваемая на поддержание требуемой скорости газовой среды в сечении помольного агрегата, определяется по следующей формуле:

$$N = Q \cdot \Delta p,$$

где  $Q$  – объемный расход воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta p$  – аэродинамическое сопротивление помольного агрегата, Па.

Учитывая линейную зависимость мощности от сопротивления, графически энергозатраты от скорости вращения ротора корзины будут выглядеть аналогично изменению аэродинамического сопротивления классификатора (рис. 6).

**Заключение.** В результате проведенных аналитических исследований влияния технологических параметров (скорость вращения ротора корзины и направление вращения) динамического

классификатора с ротором в виде корзины с отбойными лопатками, работающего в замкнутом цикле со среднеходной мельницей, можно сделать следующие выводы.

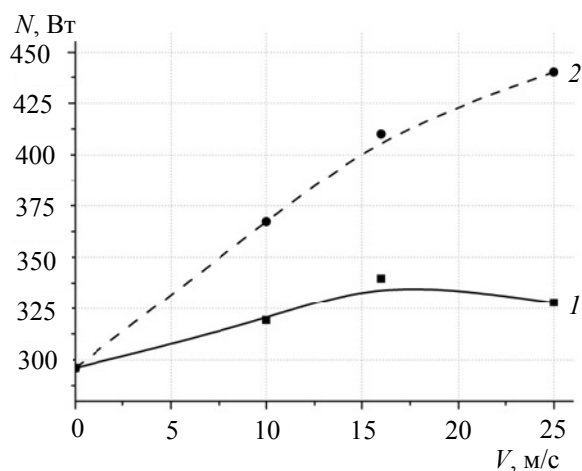


Рис. 6. Энергозатраты помольного агрегата:  
1 – попутное направление вращения;  
2 – противоположное направление вращения

1. Для снижения энергозатрат на продувку помольного агрегата и повышения эффективности работы динамического классификатора направление вращения ротора корзины должно совпадать с направлением вращения несущего газового потока, который поступает в мельницу тангенциально.

2. При оценке энергетических затрат на преодоление аэродинамических сил сопротивления важно учитывать реальные аэродинамические характеристики в сепарационном пространстве мельницы, которые возможно изучить путем компьютерного моделирования.

### Литература

1. Ушаков С. Г., Зверев Н. И. Инерционная сепарация пыли. М.: Энергия, 1974. 168 с.
2. Барский М. Д. Фракционирование порошков. М.: Недра, 1980. 327 с.
3. Дорогокупец А. С., Вайтехович П. Е., Францкевич В. С. Влияние технологических параметров динамического классификатора на аэродинамику и эффективность классификации измельченного продукта в среднеходной мельнице // Вестник ПГУ. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. 2013. № 11. С. 44–51.

Поступила 06.03.2014