

УДК 666.961

П.Е. Вайтехович, доцент;
О.А. Петров, студент

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ КАВИТАЦИОННЫХ ДИСПЕРГАТОРОВ

The comparative researches of four hydrodynamic cavitation powder dispensers are conducted. The asbestos suspension is chosen as model environment, the degree of dispersion and hydraulic resistance are chosen as estimated parameters. The optimum version of a design is chosen.

Одной из важных задач во многих отраслях промышленности является получение мелкодисперсных суспензий. Это относится прежде всего к промышленности стройматериалов, где такими суспензиями являются сырьевые смеси для получения цемента и керамических изделий. Твердые компоненты таких суспензий представляют собой частицы известняка, глины. Однако в качестве твердых компонентов могут использоваться и волокнистые материалы, например асбест, который является одним из основных компонентов в производстве асбестоцементных изделий. Волокнистые суспензии являются также основным продуктом на промежуточных стадиях целлюлозно-бумажного производства.

Приготовление водных суспензий проводится обычно в две стадии: предварительный помол и последующий роспуск в водной среде за счёт воздействия гидродинамических сил. В зависимости от технологии на первой и второй стадиях используются самые разные агрегаты. Вторая стадия (гидродинамическая распушка) проводится обычно в конических и дисковых мельницах, аппаратах с мешалками с дополнительной внешней циркуляцией. Основные способы воздействия при этом - гидравлический удар, высокие касательные напряжения за счёт больших градиентов скоростей в вихрях. В некоторых технологиях процессы гидродинамического разрушения (распушка асбеста, роспуск каолина) довольно длительны по времени и требуют интенсификации.

Одним из путей интенсификации приготовления суспензий является применение новых нетрадиционных способов разрушения твердых материалов, основанных на физических эффектах, таких, как электрический разряд, кавитация и т.д. Целесообразнее, на наш взгляд, использовать именно кавитацию, так как создание кавитационного те-

чения не требует дополнительного сложного оборудования. А разрушительный эффект кавитации общеизвестен [1].

Среди всех видов кавитации наиболее приемлемым с точки зрения интенсификации технологических процессов является суперкавитация, которая заключается в создании каверн значительных размеров, замыкающихся за пределами рабочих органов, что предотвращает кавитационное разрушение последних. Самой распространенной конструкцией можно считать струйный суперкавитатор, выполненный в виде сопла Вентури, в диффузор которого помещен конус-обтекатель. Именно за этим конусом и образуется суперкаверна.

Использование таких кавитаторов в различных технологических процессах дало положительный эффект [2]. Высокая эффективность струйного кавитатора подтверждена нашими исследованиями, в частности для процесса распушки асбеста [3]. Эффективность по сравнению с применяемыми гидропушителями возрастает вдвое. Однако в процессе исследований выявлен существенный недостаток струйного кавитатора, который заключается в значительном гидравлическом сопротивлении, обусловленном высокими скоростями жидкости и высокой степенью загромождения потока.

Как это ни парадоксально, но, на наш взгляд, снизить гидравлическое сопротивление можно за счет закрутки потока. Закрученные потоки характеризуются большим градиентом скоростей по сечению канала, и за завихрителями практически всегда образуется каверна. Таким образом, диспергирующий эффект достигается как за счет кавитации, так и за счет чисто гидродинамического воздействия. Поскольку интенсивность разрушающего воздействия повышается, то процесс диспергирования (распушки) можно проводить при меньших скоростях жидкости, что приведет к снижению гидравлического сопротивления.

Поэтому, кроме струйного кавитатора, нами были исследованы еще три конструкции, в которых осуществляется закрутка потока. Первый из них, лопастный, представляет собой стержень с коническими хвостовиками, на котором закреплены плоские статические лопасти под углом 45° к оси канала. Винтовой кавитатор отличается тем, что вместо плоских лопастей на стержне закреплена винтовая лопасть (один виток шнека) с углом подъема винтовой линии, равным 45° . Пластинчатый кавитатор выполнен в виде продольных радиальных пластин с отогнутыми концами, которые подкручивают поток и одновременно выполняют функции кавитационной решетки.

Сравнительные исследования кавитационных диспергаторов проводились на лабораторной установке, описанной в [3]. В качестве модельной среды принята 1%-ная асбестовая суспензия. При этом асбест предварительно распушивался в дисмембраторе, и степень распушки его доводилась до 30%. В процессе опытов замерялось гидравлическое сопротивление и степень распушки асбеста при изменении в широком диапазоне скорости жидкости и времени обработки. Чтобы оценить вклад в распушку каждой конструкции, мы провели исследования в циркуляционном контуре вообще без кавитатора.

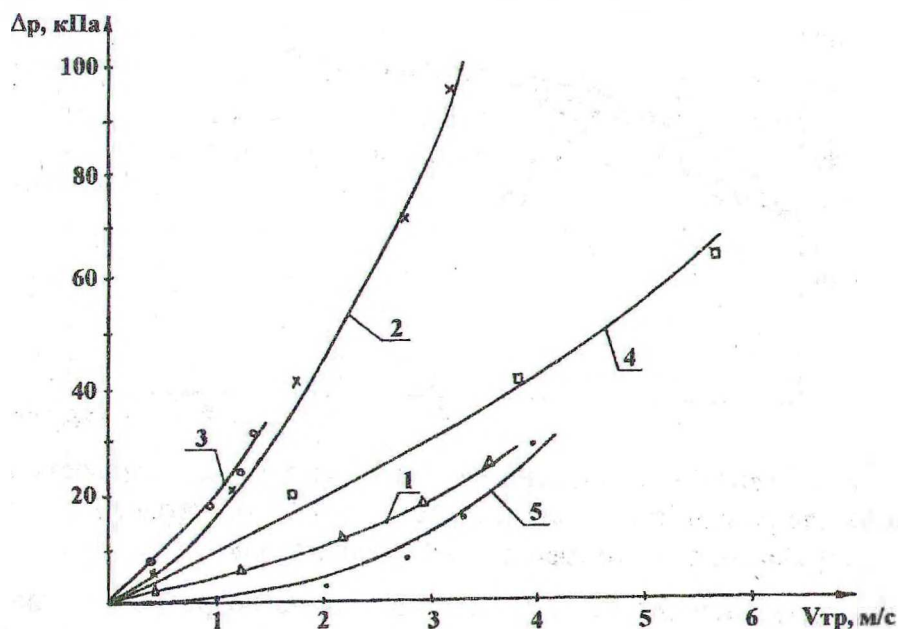


Рис. 1. Зависимость гидравлического сопротивления от скорости жидкости в трубопроводе для разных типов кавитаторов: 1 — пластинчатый; 2 — лопастный; 3 — струйный; 4 — винтовой; 5 — без кавитатора

На рис.1 представлена зависимость гидравлического сопротивления кавитаторов от скорости жидкости на полное сечение циркуляционного трубопровода. Из графиков видно, что гидравлическое сопротивление всех кавитаторов возрастает с увеличением скорости жидкости. Наибольшее гидравлическое сопротивление имеет струйный кавитатор, близок к нему по этому параметру лопастный. Значительно меньше гидравлическое сопротивление у винтового и, особенно, у пластинчатого кавитатора.

Характерной особенностью всех кавитаторов с закруткой потока является то, что каверна у них более устойчива, нет ее срыва и за-

хлебывания. Эта устойчивость достигается за счет воздействия центробежной силы, возникающей при закрутке.

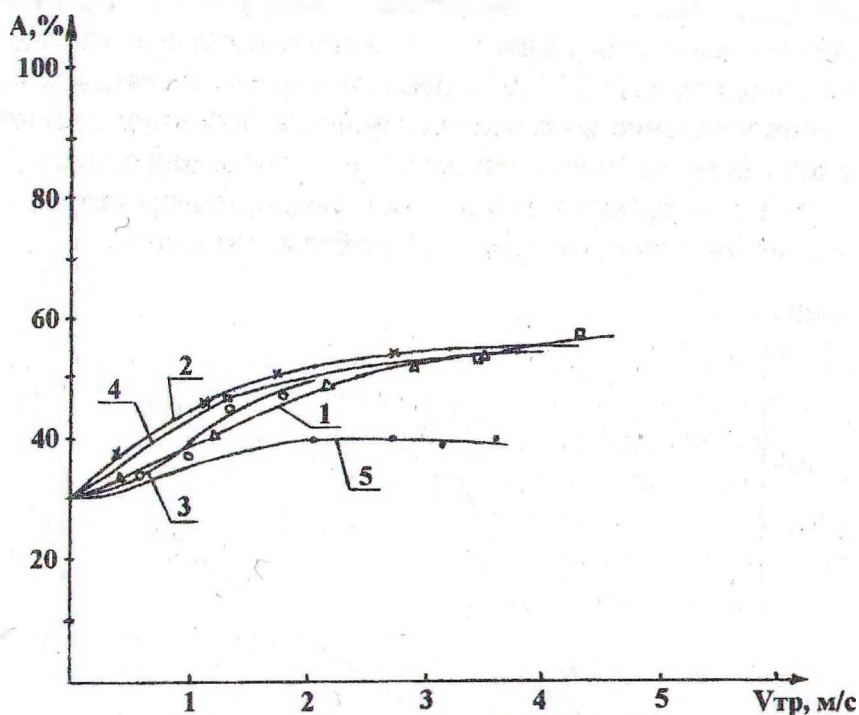


Рис. 2. Зависимость степени распушки от скорости жидкости в трубопроводе для разных типов кавитаторов: 1 — пластинчатый; 2 — лопастный; 3 — струйный; 4 — винтовой; 5 — без кавитатора

Степень распушки для всех кавитаторов возрастает с увеличением скорости жидкости в трубопроводе, рис. 2. Разница в величине степени распушки незначительна, особенно в стабильном режиме при скорости 2 - 4 м/с. Одновременно здесь видно, что все кавитаторы за один проход дают степень распушки на 10% выше, чем в случае их отсутствия. Сравнение кавитаторов показывает небольшое преимущество конструкции с закруткой потока. Это подтверждает наше предположение о том, что у них эффект разрушения связей между волокнами достигается не только за счет кавитационного воздействия, но и за счет градиента скоростей и турбулентных пульсаций в вихрях. Кроме того, у этих кавитаторов значительно шире диапазон устойчивой работы.

Исследования кавитаторов при обработке асбеста показали, что за один проход не достигается требуемая степень распушки (90%) ни в одной конструкции. При многократном прохождении через кавитатор

степень распушки достигает необходимой величины уже через 5 минут (рис.3), что в два раза быстрее, чем в существующих гидропушителях. Причем видно, что кавитаторы дают повышение степени распушки в среднем на 40%. При отсутствии кавитатора через 5 минут степень распушки стабилизируется на отметке 50% и больше не возрастает. Скорость жидкости во время этих опытов оставалась постоянной и составляла 3,5 м/с.

Оптимизация новых устройств проводится обычно по двум критериям: по капитальным затратам на изготовление и удельным энергозатратам. Исследуемые кавитаторы по конструкции очень просты и не требуют больших капитальных вложений, поэтому основным критерием сравнения остаются удельные энергозатраты. При диспергировании волокнистых материалов удельные энергозатраты принято относить не только к единице массы обрабатываемого продукта, но и степени диспергирования [4]. В нашем случае это будет количество энергии, затраченное на увеличение распушки единицы массы асбеста на 1%.

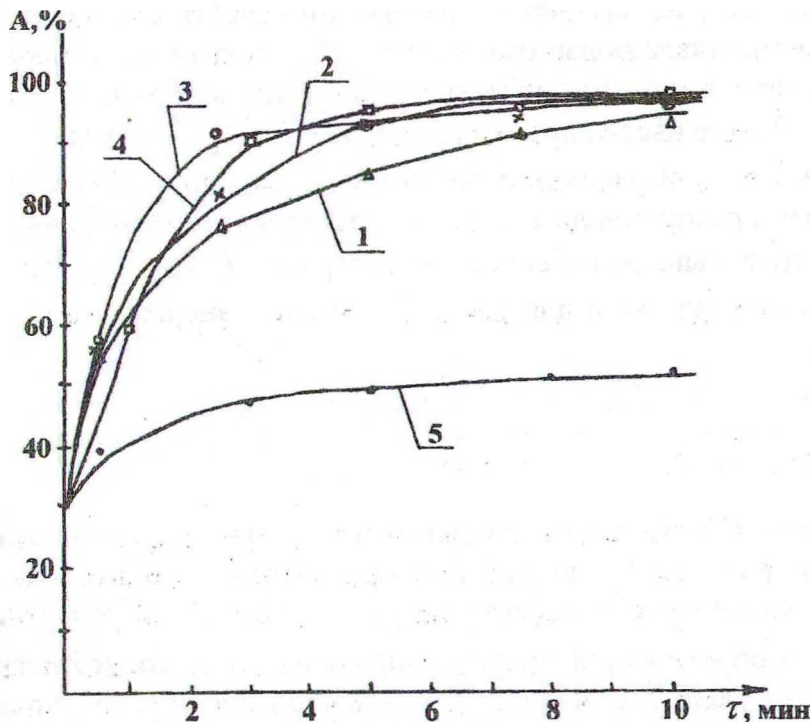


Рис. 3. Зависимость степени распушки от времени обработки для разных типов кавитаторов: 1 — пластинчатый; 2 — лопастный; 3 — струйный; 4 — винтовой; 5 — без кавитатора

Формула для расчёта удельных энергозатрат в этом случае будет иметь вид

$$q = \frac{N}{Q_m \cdot A}, \text{ кВт ч/т \%}, \quad (1)$$

где N – полезная мощность насоса, кВт;
 Q_m – массовая производительность по сухому асбесту, т/ч;
 A – степень распушки, %.

Массовая производительность по сухому асбесту Q_m связана с объемной производительностью по суспензии следующим соотношением:

$$Q_m = \varphi \cdot (\varphi \cdot \rho_a + (1 - \varphi) \cdot \rho_e) \cdot Q_v, \quad (2)$$

где φ – массовая доля (концентрация) асбеста в суспензии;
 ρ_a и ρ_e – плотность асбеста и воды.

Кроме того, на массовую производительность оказывает влияние сокращение цикла обработки асбеста. При сокращении цикла производительность по сухому асбесту увеличивается. Чтобы учесть это, в формулу (2) надо ввести временной фактор $k = t_0 / t$, где t_0 – время достижения 90%-ной распушки по базовому варианту (без кавитаторов); t – время распушки до той же степени при установке кавитатора.

С учетом вышесказанного и того, что $N = p \cdot Q_v$, где p – давление насоса, формула для расчета удельных энергозатрат примет вид

$$q = \frac{p}{k \cdot \varphi \cdot [\varphi \cdot \rho_a + (1 - \varphi) \cdot \rho_e] \cdot A}. \quad (3)$$

Формула (3) связывает основные параметры, характеризующие работу гидропушителей. Так как при проведении сравнительных исследований концентрация асбеста остается постоянной $\varphi = const$ и напор насоса определяется только гидравлическим: сопротивлением кавитатора, то удельные энергозатраты можно оценить по упрощенной формуле:

$$E = \frac{\Delta p}{k \cdot A}, \quad (4)$$

где Δp — гидравлическое сопротивление кавитаторов.

Здесь мы ввели новое обозначение E вместо q . Поскольку параметр E не является в полном смысле величиной удельных энергозатрат, то назовем его просто энергетическим критерием.

Используя экспериментальные данные (рис. 1-3) и проведя соответствующие расчеты, получили зависимость энергетического критерия от скорости жидкости в трубопроводе (рис. 4).

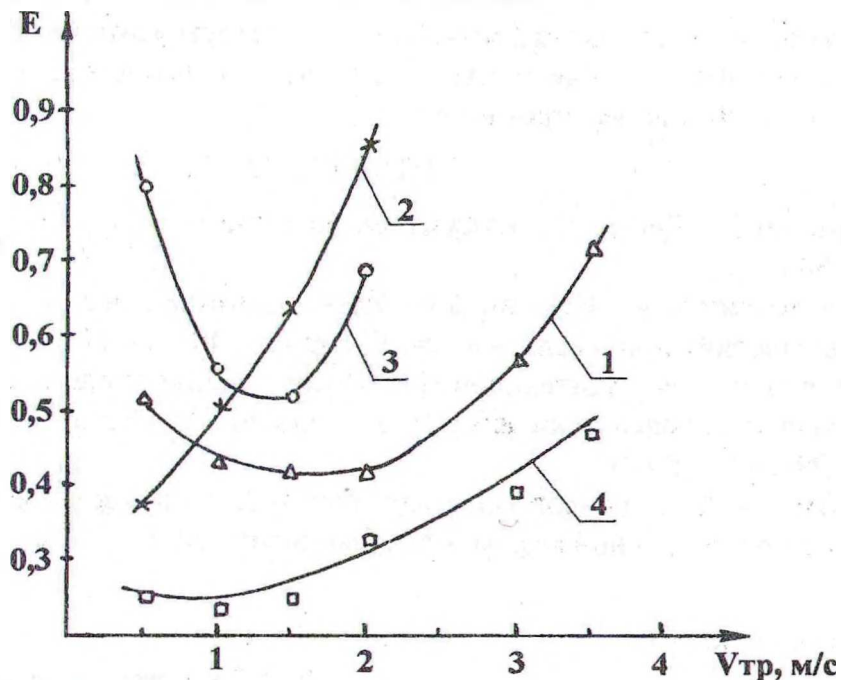


Рис. 4. Зависимость энергетического критерия от скорости жидкости для различных кавитаторов: 1 — пластинчатый; 2 — лопастный; 3 — струйный; 4 — винтовой

Из графиков видно, что почти для всех кавитаторов эта зависимость проходит через минимум. Наименьшими удельными энергозатратами обладает винтовой кавитатор. Это обусловлено достаточно низким гидравлическим сопротивлением и высокой эффективностью распушки. Подтвердились предположения о высоких удельных энергозатратах струйного кавитатора. Несколько выпадает из общих закономерностей график для лопастного кавитатора. Это обусловлено прежде всего его забивкой, наматыванием волокон асбеста на лопасти и, соответственно, резким увеличением гидравлического сопротивления.

Подводя итог исследований, можно отметить, что удельные энергозатраты не являются единственным критерием сравнения. Необходимо учитывать также свойства диспергируемых материалов. В случае обработки волокнистых материалов, когда связи не очень прочные, но большая вероятность забивки, лучше всего использовать винтовые и пластинчатые кавитаторы, у которых ниже гидравлическое сопротивление и, соответственно, энергозатраты. При обработке других материалов, например каолина, можно использовать более энергонапряженные и высокоэффективные кавитаторы (струйный, лопастный). Применение любого кавитатора дает значительное повышение эффективности диспергирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кнэпш Р., Дейли Д., Хэммит Ф. Кавитация. - М.: Мир, 1974. - 684 с.
2. Федоткин И.М., Немчин А.Ф. Использование кавитации в технологических процессах. - Киев: Высш.шк., 1986. - 47 с.
3. Круглов И.И., Вайтехович П.Е. Исследование влияния кавитации на процесс распушки асбеста // Труды БГТУ. Серия III. Вып. VII. 1999. - С. 38 - 44.
4. Гаузе А.А., Гончаров В.Н., Кугушев И.Д. Оборудование для подготовки бумажной массы. - М.: Экология, 1992. - 352 с.

УДК 666.97:666.942

Ю.М. Костюнин, доцент;
П.Е. Вайтехович, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ СУХОГО СПОСОБА АКТИВАЦИИ ЦЕМЕНТА С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНО- ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОНА

The research of a dry way of activation of cement is conducted. It is shown that the increase of a specific surface up to 4500-5000 cm²/g allows to lower the consumption of cement of 1 m³ of concrete on 25-30% without decrease of strength.

Известно, что физико-механические свойства цементов зависят от гранулометрического и химикоминералогического составов, кристаллической структуры материала и способа измельчения. Влияние этих факторов не однозначно, они находятся в сложной зависимости друг от друга [1, 2]. Одним из путей повышения качества цемента, со-