

DESIGN PROCEDURE OF MONODISPERSE SPRAYER OF THE CLARIFIED MANURE DRAINS

Summary

The technology of recycling of the clarified manure drains by a method of "cold" mechanical evaporation – with ultra dispersion of a liquid on drops of the size 30–80 microns which evaporate under action of atmospheric heat and solar radiation is offered. The design procedure of a monodisperse sprayer such as the rotating punched drum is given (at good wetting a surface of a sprayer by a liquid).

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОНОДИСПЕРСНОГО РАСПЫЛИТЕЛЯ ОСВЕТЛЁННЫХ НАВОЗНЫХ СТОКОВ

Предложена технология утилизации осветлённых навозных стоков методом «холодного» механического испарения – ультрадисперсным распылением жидкости на капли размером 30–80 мкм, которые испаряются под действием атмосферного тепла и солнечной радиации. Дана методика расчета монодисперсного распылителя типа вращающегося перфорированного барабана (при хорошем смачивании поверхности распылителя диспергируемой жидкостью).

Существующие технологии удаления, накопления и применения органических удобрений предусматривают получение осветленных навозных стоков, которые впоследствии вносятся на поля посредством стационарных дождевальных систем или вывозятся мобильным транспортом. При этом затрачивается огромное количество топлива, трудовых, финансовых и энергетических ресурсов. В зависимости от дальности перевозки и используемых машин в транспортно-технологическом агрегате затраты на вывоз и внесение 1 т осветленных навозных стоков в среднем составляют: топлива – 1,09 кг., металла – 1,02 кг., труда – 0,07 чел.ч.

Использование дождевальных установок для утилизации навозных стоков стало невозможным в настоящее время по причине выхода из строя трубопроводов, проложенных от животноводческих комплексов к этим установкам и невозможности их ремонта, а также отсутствия средств для прокладки новых.

Нами предложена технология утилизации осветлённых навозных стоков методом «холодного» механического испарения – ультрадисперсным распылением жидкости на капли размером 30–80 мкм, которые испаряются под действием атмосферного тепла и солнечной радиации. При такой технологии на утилизацию 1 т стоков затрачивается 2–4 кВт·ч электроэнергии и 0,035 чел.ч труда.

Ультрадисперсный распылитель представляет собой быстровращающийся перфорированный барабан, внутрь которого подается определённое количество осветлённых стоков.

К настоящему времени разработан ряд теорий дробления жидкостей. Однако применить их в готовом виде для обоснования параметров ультрадисперсного распылителя осветлённых навозных

стоков, в силу их специфических физико-механических свойств, не представляется возможным. Тем не менее, анализ известных теорий необходим.

При распылении жидкостей одновременно образуются капли самых различных размеров, т.е. полидисперсные системы капель. Этот факт, имеющий огромное практическое значение для разнообразных областей техники, в которых применяется распыление, в частности для сельскохозяйственных опрыскивателей и дождевателей, подтвержден многочисленными исследованиями.

Известны лишь отдельные аппараты и устройства, образующие при определенных условиях приблизительно одинаковые капли. Это капилляры, капельницы и вращающиеся перфорированные барабаны.

Все эти аппараты и устройства имеют одно общее свойство – они образуют более или менее однородные по размерам капли только при очень малых расходах жидкости, в условиях ламинарного ее течения. Благодаря этому к ним отчасти применима теория дробления жидкости.

Рассмотрим процесс монодисперсного дробления жидкости при различных режимах движения, которые определяются числом Рейнольдса:

При $Re < Re_{кр}$, где $Re_{кр} \approx 2300$, режим движения ламинарный, т.е. слоистый – без перемешивания жидкости и без пульсаций скоростей и давлений.

$Re > Re_{кр}$ режим течения турбулентный, т.е. с перемешиванием жидкости и с пульсациями скоростей и давлений [2].

Процесс дробления жидкости перфорированным барабаном схематически показан на рис. 1. Он аналогичен процессу капания жидкости из неподвижного капилляра, но наряду с силой тяжести на жидкость действует центробежная сила. В силу малости силы тяжести её не учитывают [1].

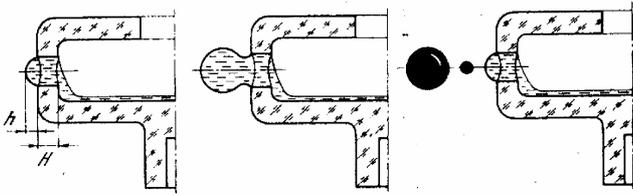


Рис. 1 Образование капель при дроблении жидкости вращающимся перфорированным барабаном
Fig.1. Formations of drops in rotating perforated drum.

Жидкость подается непрерывной струйкой к центру вращающегося барабана, растекается по его внутренней поверхности под действием центробежных сил, заполняет радиальные отверстия барабана (радиальные капилляры) и выбрасывается наружу в виде капель. Рассмотрим образование капель на выходе из одного такого капилляра.

При малом количестве жидкости внутри капилляра на его наружном конце образуется выпуклый жидкий мениск. В отличие от неподвижного капилляра на этот мениск действует сила сопротивления воздуха, в результате жидкость в мениске должна двигаться.

Пренебрегая этим движением, запишем условие равновесия на основании законов гидравлики:

$$2\pi R\sigma \geq \left(\frac{4\pi R^3}{3} + \pi R^2 H \right) \times \rho r \omega^2, \quad (1)$$

где R – радиус капилляра, см;
 σ – поверхностное натяжение жидкости, г/с²;
 H – толщина стенки барабана, см;
 ρ – плотность жидкости, г/см³;
 r – наружный радиус барабана, см;
 ω – угловая скорость, с⁻¹.

По мере увеличения H высота мениска h растет, затем равновесие, определяемое неравенством (1), нарушается и жидкость приходит в движение. В результате действия центробежной силы и сил поверхностного натяжения жидкость вытекает из капилляра так, как показано на рис. 1, образуя одинаковые капли, которые отрываются от капилляра одна за другой. Силу тяжести определим по формуле:

$$F_{тяж.} = \frac{\pi d^3 \rho r \omega^2}{6},$$

Силы поверхностного натяжения:

$$F_{н.н.} = 2\pi R\sigma,$$

Приравняв правые части этих выражений, находим:

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{12R\sigma}{\rho r \omega^2}}, \quad (2)$$

Чтобы капли были одинаковыми радиус капилляра не должен превышать критическое значение R_{max} , которое следует из формулы (1) при $H=0$:

$$R_{max} = \sqrt{\frac{3\sigma}{2\rho r \omega^2}}, \quad (3)$$

Вернемся к силе сопротивления воздуха, действующей на жидкость, вытекающую из вращающегося радиального капилляра. При малых расходах жидкости Q ее действие сказывается в следующем. Начало формирования капли происходит почти так же

медленно, как и при неподвижном капилляре, так как высота мениска мала и действующая на него сила сопротивления воздуха незначительна. Однако конец формирования капли и ее отрыв происходят значительно быстрее, чем при неподвижном капилляре, ввиду возросшей высоты капли над поверхностью барабана, а следовательно, и возросшей силы сопротивления воздуха. Поэтому даже при очень малых расходах жидкости (очень медленном ее истечении) образование основных капель вращающимся барабаном сопровождается образованием более мелких капель-спутников вследствие быстрого увлечения основной капли воздухом, т.е. быстрого разрушения перемычки между основной каплей и капилляром [1].

Второе отличие от неподвижного капилляра, отчасти также обусловленное сопротивлением воздуха, относится ко второму режиму $Q_{к1} < Q < Q_{к2}$ Ламинарная струя (жидкая нить), вытекающая из вращающегося капилляра, испытывает действие сил инерции, благодаря которым ее вершина стремится двигаться прямолинейно по касательной к барабану, а основание совершает вращательное движение вместе с барабаном. В результате струя растягивается. К действию сил инерции, растягивающих струю, добавляется действие сил сопротивления воздуха движению струи. В результате струя принимает форму, близкую к эвольвенте, т.е. движение элемента струи описывается формулой:

$$S = 0,5r\omega^2\tau^2, \quad (4)$$

где τ – время, с.

При распаде струи маловязкой жидкости диаметр вторичных капель равен [1]:

$$d_2 = 1,48 \left(\frac{\sigma Q^2}{\rho r^2 \omega^4} \right)^{1/7}, \quad (5)$$

Условие перехода от второго режима истечения к третьему (т.е. к турбулизации и обычному полидисперсному распылению), определяется формулой и числом Рейнольдса для данного режима движения жидкости [2]:

$$Re = \frac{2\rho Q}{\pi R \eta} = 2000, \quad (6)$$

откуда:

$$Q_{к2} = \frac{1000\pi R \eta}{\rho}, \quad (7)$$

При третьем режиме, т.е. при $Q > Q_{к2}$ происходит дробление турбулизованной струи, т.е. дробление при случайных пульсациях скорости и вихревого движения жидкости. При этих условиях процесс дробления жидкости имеет вероятностный характер и, как и при обычных процессах распыления жидкости, применяемых в технике, образуются полидисперсные системы капель. Область дробления жидкости на более или менее однородные по размерам капли ограничивается первыми двумя режимами, т.е. условием:

$$Q < Q_{к2}. \quad (8)$$

Из формулы (3) видно, что для полного заполнения отверстий вращающегося барабана жидкостью при первом режиме отверстия барабана должны быть очень малы, и тем меньше, чем больше его радиус r и скорость вращения ω . Поэтому этот режим практически реализуется лишь в ограниченном диапазоне значений

параметров и имеет второстепенное значение. Однако он является основным в одном весьма важном частном случае, а именно при распылении жидкости барабаном, выполненным из пористого материала, при радиальном расположении пор; вследствие малого диаметра пор в этом случае рассматренный режим является основным. Для обычных перфорированных барабанов основной режим – неполное заполнение отверстий смачивающей жидкостью [1].

Область значений параметров, соответствующая первому режиму распыления, определяется эмпирическим неравенством [4]:

$$0 < A\omega^{0,48}\eta^{0,12}\rho^{0,50}r^{0,32}\left(\frac{Q}{\sigma nR}\right)^{0,62} \leq 1, \quad (9)$$

Процесс образования одинаковых капель, схематически показанный на рисунке, был рассмотрен применительно к жидкости, полностью заполняющей сечение отверстий барабана (капилляров) т.е. для условий выполнения неравенства $R < R_{max}$.

При $R > R_{max}$ наблюдается процесс, сходный с процессом образования капель гладким диском, причем явления, наблюдаемые на кромке диска, происходят на кромках отверстий барабана. При этом на кромке каждого отверстия барабана в зависимости от расхода жидкости реализуется первый, второй или третий режим распыления. Поэтому процесс монодисперсного распыления смачивающих жидкостей перфорированным барабаном при радиусе отверстий $R > R_{max}$ характеризуется теми же формулами, которые применимы для вращающегося диска [1].

При малых расходах жидкости на кромке каждого отверстия образование капель происходит так же, как на диске, т.е. отдельные капли формируются непосредственно на кромке и сбрасываются с нее. При увеличении расхода жидкости образуется второй режим на кромках отверстий – сбрасывание и распад жидких нитей.

Диаметр первичных капель (d) определяется формулой:

$$d = \frac{C}{\omega} \sqrt{\frac{\sigma}{r\rho}}, \quad (10)$$

Причем значения константы C в этой формуле для барабана и диска близки в диапазоне изменения параметров ($\omega = 105\text{--}314 \text{ с}^{-1}$, $r = 1\text{--}5 \text{ см}$, $R = 0,04\text{--}0,2 \text{ см}$, $\sigma = 29\text{--}33 \text{ г/с}^2$,

$$\eta = 0,194 = 2,37 \text{ г/см} \cdot \text{с} \text{ [1]}.$$

При распылении барабаном всегда, даже при очень малых расходах жидкости, наблюдается наличие капель-спутников, обусловленное ускоренным протеканием завершающей стадии образования капли вследствие влияния сопротивления воздуха.

Относительное весовое количество капель-спутников определяется эмпирической формулой [3]:

$$E = 100 \frac{\eta^{0,12}\rho^{0,50}r^{0,32}\omega^{0,48}}{\sigma^{0,62}} \left(\frac{Q}{nR}\right)^{0,62}, \quad (11)$$

Критический расход жидкости Q_k , определяющий переход от первого режима распыления ко второму определяется выражением:

$$Q_k = \frac{K_1 R n}{(r\omega^2)^{0,25}} \left(\frac{\sigma}{\rho}\right)^{0,75}, \quad (12)$$

где K_1 – коэффициент – есть слабая функция вязкости жидкости η , определяемая эмпирической формулой:

$$K_1 = 0,53 - 0,10(2 + \lg \eta). \quad (13)$$

При втором режиме средний медианный по массе диаметр вторичных капель для маловязкой жидкости определяется по формуле [4]:

$$d_2 = 1,48 \left(\frac{Q\sigma}{nR\rho\omega^3 r^{3/2}}\right)^{2/7}, \quad (14)$$

Как известно, существуют две основные категории способов образования аэрозолей: дисперсионные способы, когда частицы образуются путем дробления веществ, и конденсационные способы, при которых частицы образуются путем конденсации пересыщенного пара. При способах первой категории образуются относительно крупные частицы, при второй – относительно мелкие.

Наиболее приемлемым методом монодисперсного дробления жидкостей является использование вращающихся распылителей, так как при этом обеспечивается возможность не только получать одинаковые капли, но и регулировать их размер в широких пределах и обеспечить достаточную производительность не только для лабораторных условий, но и для производственных процессов.

Совокупность приведенных выше формул образует метод расчета монодисперсного распылителя типа вращающегося перфорированного барабана (при хорошем смачивании поверхности распылителя диспергируемой жидкостью).

Выполненные нами расчеты с использованием приведенных формул позволили определить следующие параметры ультрадисперсного распылителя навозных стоков: диаметр барабана – 340 мм; высота барабана – 50 мм; количество прорезей на барабане – 180 шт.; количество капилляров в прорези – 9 шт.; радиус капилляров (отверстий) – 0,5 мм; длина капилляров – 10 мм; частота вращения барабана – 8000 с-1. При этих параметрах распылителя, установленного на высоте 4 м, производительность испарения колеблется в пределах 1,2-1,5 м3/ч (температура наружного воздуха – 20-28°C, относительная влажность – 55-60 %), потребляемая мощность – 5,5 кВт.

Литература

- [1] Дунский В.Ф., Никитин Н.В.: Монодисперсное распыление жидкостей вращающимися распылителями. Научные труды, 1981. 90 с., ил.
- [2] Чугаев Р.Р.: Гидравлика. Энергия, 1971. – 552 с., ил.
- [3] Дунский В.Ф., Никитин Н.В., Тонкачева Н.Ф.: О каплях-спутниках, образующихся при распылении жидкости вращающимся диском. Инженерно физический журнал, 1971, 20 – 792-794 с.
- [4] Hinze J., Milborn H. Atomization of liquids by means of rotating cup. J of Appl. Mechn., 1950, 17, 145 p.