

УДК 541.183

Р.Г. Сафиуллин – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [safiullin\\_rinat@mail.ru](mailto:safiullin_rinat@mail.ru)

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

**К РАСЧЕТУ УВЛАЖНИТЕЛЕЙ ВОЗДУХА  
НА ОСНОВЕ ДИСКОВЫХ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ С ЗУБЧАТОЙ ПЕРИФЕРИЕЙ.  
ЧАСТЬ 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ РАСПЫЛА**

**АННОТАЦИЯ**

Выполнены эксперименты по распыливанию дистиллированной воды с помощью образцов вращающихся зубчатых дисков. Спектры размеров капель определялись при различных окружных скоростях и расходах воды. В проведенных опытах использовался метод улавливания капель в иммерсионную среду с последующим фотографированием их под микроскопом. Анализ полученных кривых дисперсности распыла показывает хорошее согласие с расчетными значениями, полученными на основе математической модели каплеобразования.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** вращающийся зубчатый диск, дисперсность распыла.

**R.G. Safiullin** – candidate of technical sciences, associate professor  
**Kazan State University of Architecture and Engineering**

**TO ACCOUNT OF AIR HUMIDIFIERS BASED  
ON DISK ATOMIZERS WITH TEETH PERIPHERY.  
PART 2. EXPERIMENTAL DEFINITION OF THE DISPERSION SPECTRUM**

**ABSTRACT**

The experiments on spraying of distilled water by the samples of rotating disks with teeth periphery are executed. The droplet's size spectrum is defined at various district speeds and flow rates of water. The method of catching the droplets in immersion liquid with the subsequent photographing them under a microscope was used. The analysis of the dispersion curves shows the good consent with calculated values received on the basis of mathematical droplet formation model.

**KEYWORDS:** rotary disk atomizer with teeth periphery, dispersion of droplets.

Эксперименты по определению дисперсности распыления воды проводились с гладкими металлическими дисками внешним диаметром  $d_p = 22$  и  $80$  мм. На периферии дисков равномерно по окружности были выполнены 72 и 300 острых зубцов с углом  $2b = 30^\circ$  и  $15^\circ$ , соответственно. Перед проведением каждой серии опытов диски прокаливались на открытом огне докрасна для того, чтобы обеспечить полное их смачивание водой.

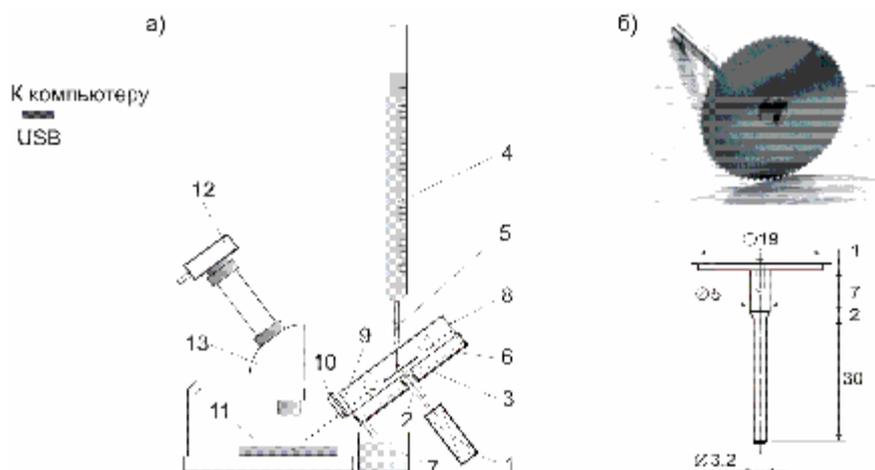


Рис. 1. Схема экспериментальной установки и опытного образца дискового распылителя

Опытная установка показана на рис. 1. Она включала в себя электропривод 1 с возможностью плавного изменения числа оборотов ротора  $n$  от 1000 до 5000 об./мин. Распылитель 3 жестко устанавливался на подложку (рис. 1 б) и крепился на валу двигателя 1 с помощью цанги 2. Дистиллированная вода подавалась в распылитель из питающей мерной емкости 4 объемом 100 мл. Расход воды в экспериментах изменялся от 0.2 до 1.0 л/ч.

Регулирование расхода осуществлялось вентилем 5. Распыленная вода через приемный бункер 6 направлялась в сборную емкость 7. Выборка требуемой совокупности капель для регистрации их дисперсного состава выполнялась с помощью отборного устройства 8 через окно 9. Время экспозиции потока капель через отборное окно устанавливалось с помощью ирисовой диафрагмы 10 (рис. 2).

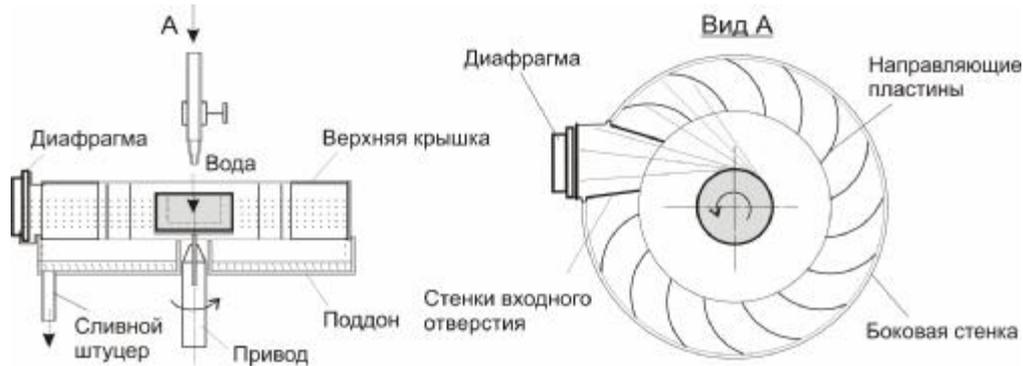


Рис. 2. Схема пробоотборного устройства

Капли воды улавливались в кювету 11 с иммерсионной средой, имеющей такую же плотность, как и вода. Здесь капли приобретали сферическую форму и фотографировались в проходящем свете с помощью веб-камеры 12 (800×600), установленной на окуляре микроскопа 13 (БСМ-1) с 56-кратным увеличением. Изображение от камеры 12 в режиме реального времени передавалось напрямую через USB-вход компьютера, и далее – на экран монитора.

На рис. 3 представлены характерные фотоснимки уловленных в иммерсионную среду капель, образующихся при распыливании воды зубчатым диском  $d_p=22$  мм. Снимки получены при постоянной окружной скорости  $v_p = \frac{pnd}{60} = 2.8$  м/с и разных расходах жидкости  $Q$ . Под фотоснимками приведены соответствующие им дисперсные характеристики распылов в виде гистограмм распределения капель по фракциям. Количество фракций и диапазон диаметров капель в них определялись автоматически с помощью программы обработки растровых изображений «ImageJ» [1].

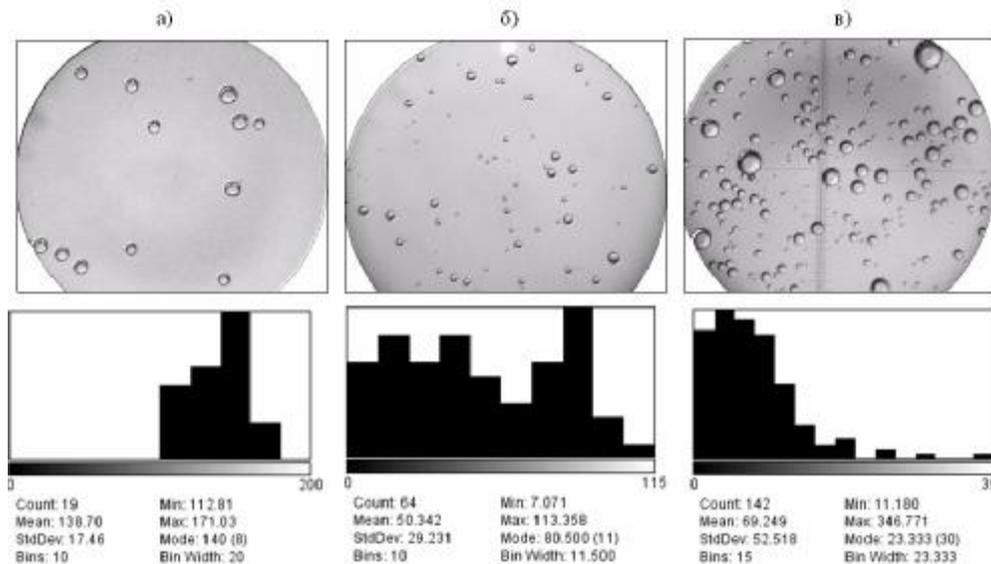


Рис. 3. Фотоснимки уловленных капель и гистограммы дисперсности распыла зубчатого диска  $d_p=22$  мм при скорости вращения  $v_p=2.8$  м/с: а –  $Q=0.8$  см³/с; б –  $Q=1.45$  см³/с; в –  $Q=3.2$  см³/с

Анализ результатов экспериментов показывает, что при небольших расходах (до  $0,8 \div 1,0 \text{ см}^3/\text{с}$ ) в распыле зубчатых дисков образуются достаточно крупные капли, размер которых определяется геометрией зубцов. У диска диаметром 22 мм ( $2b = 30^\circ$ ) средний диаметр капель в распыле  $d_{к,ср}$  составил  $\approx 138 \text{ мкм}$ . У диска диаметром 80 мм ( $2b = 15^\circ$ ) капли более мелкие –  $d_{к,ср} \approx 115 \text{ мкм}$ . В этом режиме работы распыл характеризуется очень высокой степенью монодисперсности. Отношение максимального диаметра капель к минимальному для каждого диска составило  $\frac{d_{к}^{max}}{d_{к}^{min}} < 1.6$  (рис. 3 а).

При увеличении расхода до  $1.4 \div 2.0 \text{ см}^3/\text{с}$  (рис. 3 б) средний размер капель уменьшается, для обоих образцов он составил  $\approx 50 \div 60 \text{ мкм}$ . При этом значительно возрастает степень полидисперсности распыла, достигая  $\frac{d_{к}^{max}}{d_{к}^{min}} > 15 \div 16$ .

При дальнейшем увеличении расхода (более  $2.0 \div 2.5 \text{ см}^3/\text{с}$ ) средний диаметр капель вновь начинает расти, а дисперсность распыла описывается статистическим законом распределения случайных величин Розина-Раммлера (рис. 3 в).

Полученные результаты совпадают с известными данными экспериментальных исследований механизма распыления вращающимися зубчатыми дисками [2, 3]. Как видно из рис. 4, каплеобразование на зубчатой периферии, по существу, является комбинацией трех процессов – непосредственного формирования и отрыва одиночных капель с каждого зубца (рис. 4 а), распада на капли ламинарных струй жидкости, вытягивающихся с каждого зубца (рис. 4 б), спонтанного (нерегулярного) распада турбулентных струй, образующихся при слиянии жидкости на нескольких зубцах (рис. 4 в).

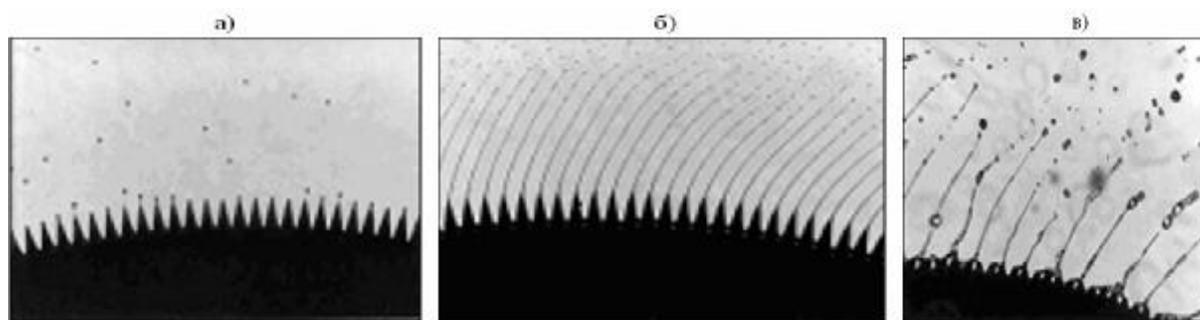


Рис. 4. Режимы распыливания зубчатым диском по данным [2]:  
а – капельный режим; б – режим струеобразования на зубце; в – режим слияния струй

Непосредственное формирование капель на зубцах наблюдается как при малых расходах, так и при низких скоростях вращения диска. Зубцы на периферии действуют как каплеобразователи – на их поверхности растут и отрываются капли. Одноразмерность зубцов и одинаковые условия для формирования на них капель определяют получение очень узкого спектра капель в распыле зубчатых дисков в «капельном» режиме работы. При этом важным является обеспечение равномерного растекания пленки жидкости по поверхности диска.

Если скорость вращения диска увеличивается или возрастает подача жидкости на его поверхность, то на зубцах начинают формироваться тонкие струи, которые затем распадаются на капли под действием нерегулярных возмущений со стороны газовой фазы. При вытягивании струй их диаметр значительно уменьшается и в месте их распада на капли определяется не столько геометрией зубцов, сколько действующей центробежной силой и капиллярными свойствами жидкости. Струи распадаются на так называемые «вторичные» капли разных размеров, среди которых мелкие капля-спутники составляют до 30 % по объему. Поэтому средний размер капель в «струйном» режиме меньше, чем в «капельном», а нерегулярность распада приводит к значительному расширению спектра капель в распыле.

С дальнейшим увеличением расхода происходит слияние струй на поверхности нескольких зубцов, при этом диаметр струй увеличивается, их радиальная скорость возрастает. Турбулизация струй приводит к хаотичному их распаду в газовой фазе на капли с высокой степенью полидисперсности. При некотором критическом расходе с поверхность диска сбрасывается пленка

жидкости, которая затем распадается на крайне разнородную систему капель. По существу, это тот же самый процесс, который происходит при распыливании гидравлическими форсунками.

Таким образом, на спектр размеров капель в распыле влияют три фактора: скорость диска; конфигурация периферии диска (наличие зубцов и углублений, их геометрия, способ подачи жидкости на диск, площадь и толщина пленки, растекающейся по диску), а также интенсивность подачи жидкости на диск.

Отмеченные факторы (каждый в отдельности) требуют более глубокого изучения, однако в задачи данной работы это не входит. Для практического использования в системах вентиляции и кондиционирования наиболее интересен близкий к монодисперсному «капельный» режим распыления, для которого были определены размеры капель по формуле (19) первой части работы. Рассчитанные отрывные диаметры капель при угле конусности каплеобразующего элемента  $2b=30^\circ$  и  $\bar{L}=10$  составляют  $d_k = 140$  мкм, при угле  $2b = 15^\circ$  и  $\bar{L} = 20$   $d_k = 110$  мкм, что близко к экспериментальным значениям  $d_{k,cp} = 138$  мкм и  $d_{k,cp} = 115$  мкм, соответственно.

Рассчитанные по формуле (19) отрывные диаметры капель также хорошо согласуются с данными экспериментального определения дисперсных характеристик распыла известной конструкции генератора монодисперсных аэрозолей (ГМА) [4]. Распылитель, представляющий собой набор дисков, в щель между которыми установлены каплеобразующие элементы в виде игл, отличается очень высокой производительностью и низким показателем полидисперсности. По

данным [4], в «капельном» режиме распыления он составляет  $\frac{d_k^{max}}{d_k^{min}} < 2$ , а в большинстве случаев

его значение не превышало 1.4. При угле конусности каплеобразующих элементов  $2b = 10^\circ$  и относительном радиусе вращения  $\bar{L} = 40$  расчет по формуле (19) дает  $d_k = 85$  мкм, что на +12 % отличается от среднего диаметра капель в опытах с ГМА ( $d_{k,cp} = 76$  мкм [4]).

Близость расчетных и опытных значений для разных по конструкции распылителей свидетельствует об адекватности разработанной математической модели каплеобразования на смачиваемых элементах в поле центробежной силы. Это позволяет рекомендовать полученные в первой части работы зависимости для оценки размеров капель при монодисперсном диспергировании воды распылителями с зубчатой периферией в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Image J. URL: <http://rsb.info.nih.gov>.
2. Bals E.J. The reasons for c.d.a. (controlled droplet application) // Proc. Brit. Crop. Prot. Conf. – Weeds, Brighton, 1978. – P. 659-666.
3. Дунский В.Ф., Никитин Н.В. Капание жидкости с острия // ПМФТ, 1980, № 1. – С. 49-55.
4. Колесник А.А. Разработка и исследование пористых вращающихся распылителей жидкостей // Автореферат канд. дисс. на соиск. степени канд. техн. наук. – Казань: КХТИ, 1983. – 15 с.