

УДК 551.51

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И ВЛИЯНИЯ СМАЧИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОЛЛЕКТОРНОЙ СЕТКИ НА ПРОЦЕСС СБОРА АТМОСФЕРНОГО ТУМАНА

© 2023 г. А. И. Уколов^а, *, Т. Н. Попова^а

^аКерченский государственный морской технологический университет,
ул. Орджоникидзе, 82, Керчь, Республика Крым, 298309 Россия

*e-mail: Ukolov_aleksei@mail.ru

Поступила в редакцию 16.06.2022 г.

После доработки 11.08.2022 г.

Принята к публикации 12.10.2022 г.

Коллекторы для сбора тумана могут быть эффективным источником пресной воды в районах с постоянной адвекцией воздуха. Ключевой особенностью любого устройства сбора является сетка, используемая для захвата капель тумана. В данной работе мы объединяем эксперимент по сбору тумана, выполненный в естественных полевых условиях для сеток с различной степенью смачивания волокон, с теоретическим анализом аэродинамики воздуха вблизи коллектора, проведенного на основе компьютерного моделирования потока. Полученная общая эффективность сбора коллекторной сетки с коэффициентом затенения $s = 0.2$ для погодных условий Керченского полуострова составила $\eta_{coll} = 0.045$ для гидрофильной и $\eta_{coll} = 0.022$ для супергидрофобной поверхности. Данное явление подтверждается анализом сил, действующих на каплю, и вычислением коэффициента дренажа для двух типов покрытий. Показано, что капли объемом до 1 мкл не попадут в желоб для сбора, а преодолеют силу сцепления и вернуться обратно в атмосферу. В целом описанная технология проста, экономична и не требует энергопотребления. Основываясь на опыте нескольких стран, эффективность технологии может быть гарантирована, если при ее планировании и реализации будут учтены технические, социальные и управленческие факторы.

Ключевые слова: туман, вода, супергидрофобность, коллекторная сетка, аэродинамика

DOI: 10.31857/S0002351523010121, **EDN:** ENOSCS

ВВЕДЕНИЕ

Растущий спрос на питьевую воду человеческой цивилизации и быстро меняющийся климат привели к серьезной нехватке пригодной для использования воды. Многие традиционные ресурсы, такие как грунтовые воды, родники, реки, которые используются в качестве источников пресной воды, критически загрязнены. Помимо разработки различных технологий для уменьшения экологического вреда при добыче и потреблении чистой воды, для решения этой задачи изучается возможность использования нескольких нетрадиционных водных ресурсов. Дефицит чистой воды стал тревожной ситуацией во всем мире, и для решения этой глобальной проблемы альтернативные водные ресурсы носят экологический, экономический и социальный характер.

Туман — один из широко используемых возобновляемых водных ресурсов, способен обеспечивать пресную и незагрязненную воду. Сбор воды из естественного [1–4] и промышленного

тумана [5] коллекторами туманной воды реальная и эффективная технология для обеспечения дополнительного водного ресурса.

Искусственные сооружения для сбора воды из тумана и раньше возникали во многих частях мира. Руины таких сооружений, собирающих туман и росу, могли быть расположены в пустынных регионах Средиземноморья и Южной Америки [3]. В пустыне Атакама были замечены груды камней. В дневное время они охлаждались и конденсировали капли воды внутри полости, содержащей теплые влажные воздушные массы. Ночью роса конденсировалась на этих структурах и собиралась в полости. Подобные каменные сваи были обнаружены на Крымском полуострове, вероятно, с той же целью — сбора росы.

В современных условиях развития промышленности и аграрного комплекса туман не может полностью обеспечить потребности в пресной воде. Однако это недорогая и экологичная технология является существенным дополнительным ресурсом, и Крымский полуостров климатически

и географически подходящий регион для ее использования. Туман часто возникает там, где теплый влажный воздух проходит над холодным морем. Более холодная вода охлаждает воздух, вызывая конденсацию водяного пара и образование капель тумана, известного как адвективный [6]. Туман также появляется в горных районах, где влажный воздух поднимается вверх из-за влияния ландшафта, испытывая снижение давления с высотой, что приводит к его адиабатическому охлаждению и конденсации. Эти комбинированные эффекты создают форму тумана, известную как орографический туман [7].

Сбор морского адвективного тумана актуален на флоте, в связи с отсутствием на судах доступа к пресной воде. Внедрение подобной технологии снизит нагрузку на опреснительные установки, а, следовательно, и объемы сгораемого топлива, и выбросы в море и атмосферу.

Отдельно стоит рассмотреть возможность сбора парового тумана теплообменными аппаратами и тепловых электростанций. В связи с растущей индустриализацией, исследование стратегий промышленной рециркуляции воды привлекают большое внимание. “Пилотные” исследования [5] связанные с улавливанием тумана градириной электростанции с помощью металлической сетки, показали отличные перспективы сокращения потребления подпитки оборотной воды. Сбор тумана является термодинамически возможным, поскольку он основан на принципе перехвата капель твердым препятствием на пути потока. Промышленные туманосборщики могут быть спроектированы с большей эффективностью улавливания, поскольку они обычно имеют более высокую нагрузку тумана, чем в естественных условиях. Практика сокращения потерь пресной воды в атмосферу, экономически целесообразна и не зависит от климатических или топологических факторов для сбора.

Общий способ экспериментов по сбору тумана состоит установки сеточного экрана, удерживаемого опорными конструкциями. Экран действует как препятствие для ветрового потока, переносящего туман. Часть капель, присутствующих в этом ветровом потоке, ударяется о сетчатые волокна и оседает для сбора. Когда насыщенный туманом воздух проходит через сетку, более мелкие капли имеют тенденцию выходить через отверстия сетки, и не захватываются. Таким образом, экран может собирать только часть капель, присутствующих в ветровом потоке. Осажденные капли сливаются, увеличиваясь в размерах, и начинают скатываться по сетчатым волокнам под действием силы тяжести в коллектор. Экраны, классифицируя по размерам [8], стандартный коллектор тумана (СКТ) площадью 1 м^2 (1 м в длину и 1 м в высоту), и большой коллектор тумана

(БКТ) площадью $40\text{--}50 \text{ м}^2$. В научных исследованиях используется СКТ. Его задача измерить вероятной сбор воды из тумана в этом месте и определить возможность осуществимости этого процесса. В то время как БКТ устанавливается на участках с достаточным пространством. БКТ в основном предназначен для снабжения небольших сообществ водными ресурсами [2, 9–11].

Улавливание воды зависит от различных факторов, хотя основными, непосредственно влияющими на сбор, являются скорость ветра, влажность, распределение капель по размеру и характеристики сетки. Эффективность сбора воды из тумана до настоящего времени, была сосредоточена в основном на трех основных компонентах [5, 12, 13]: количество жидкости в потоке тумана, текущем через сетку, количество осажденных капель, вызванное взаимодействием между сеткой и туманным ветром, а также количество дренажа с поверхности сетки в коллектор. Общая эффективность сбора η_{coll} определяется как произведение аэродинамической эффективности η_a , эффективности осаждения η_{cap} и эффективности дренажа η_{dr} :

$$\eta_{coll} = \eta_a \eta_{cap} \eta_{dr}. \quad (1)$$

В качестве альтернативы, η_{coll} может также определяться как отношение скорости потока капель тумана, фактически собранных в коллекторе на единицу площади экрана, к максимальному содержанию жидкой воды в невозмущенном входящем потоке потока тумана на единицу площади поперечного сечения. Таким образом, η_{coll} можно представить в виде:

$$\eta_{coll} = \frac{m_w}{t A m_{dr}}, \quad (2)$$

где m_w – масса фактически собранной воды за время t , m_{dr} – масса дрейфующих капель тумана, A – вычисляется как площадь проекции на плоскость, перпендикулярной направлению потока тумана открытой части сетки.

Для повышения эффективности сбора в условиях окружающей среды предлагаются различные модификации сетки [14]. В лабораторных условиях недавно исследовано влияние смачиваемости на сбор тумана двухслойной полиолефиновой сеткой Рашеля [15]. Авторы обнаружили, что количество воды, собранной супергидрофильной сеткой, примерно в 5 раз превышает количество гидрофильной (необработанной) сеткой, и что гидрофобная сетка собрала в 2.5 раза больше воды, чем гидрофильная. Их результаты показывают, что повышение гидрофильности или гидрофобности поверхности может повысить эффективность сбора тумана. В работе [16] исследовано



Рис. 1. Стандартный коллектор тумана (а), размещение полевой базы (б), схема ориентации сеток (в).

дована возможность повышения эффективности сбора тумана сеткой Рашеля за счет модификации поверхности и локальных геометрических изменений. С помощью экспериментальных и теоретических исследований продемонстрировано, что можно повысить эффективность сбора тумана с помощью покрытий, обеспечивающих микрошероховатость поверхности. Основная идея состоит в том, чтобы увеличить угол контакта θ , в то же время уменьшить эффект закрепления. В результате покрытие NeverWet увеличило эффективность сбора сетки Рашеля примерно на 50%, и являлось самым эффективным из пяти протестированных покрытий. Использование супергидрофобных материалов для повышения эффективности сбора тумана типичных сеток Рашеля было исследовано в [16–18].

Целью данной работы является анализ общей эффективности сбора воды из тумана для погодных условий Керченского полуострова на основе экспериментального и численного метода. В этом исследовании мы объединяем эксперимент по сбору тумана, выполненный в естественных полевых условиях, с теоретическим анализом аэродинамики воздуха вблизи сетки коллектора, проведенного на основе компьютерного моделирования потока. В этой работе мы рассмотрим влияние смачивания поверхности сетки, уделив особое внимание супергидрофобному покрытию NeverWet. Основной задачей исследования является углубление понимания динамики жидкости, связанной со сбором тумана в реальных масштабах, и улучшение конструкции коллектора для практического применения. В частности, мы фокусируемся на основных коэффициентах эффективности сбора коллекторов тумана и влияния на них структурных свойств сетки, гидрофобности и погодных условий. Полученные результаты эффективности сбора обсуждаются с точки зрения физических процессов, происходящих в масштабе волокна сетки коллектора.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Материалы и методы исследования. Эксперимент по сбору воды из тумана выполнен в поле-

вых условиях в течение 30 дней (1–30 ноября). Этому времени года свойственны адвективные туманы, приходящие на Керченский полуостров с Черного моря. В исследовании использовали стандартный коллектор тумана (СКТ). Конструкция его состоит из плоской сетчатой панели, помещенной в жесткую рамку из пластикового шнура диаметром 5 мм (рис. 1а). Материал сетки – стекловолокно, покрытое поливинилхлоридом. Размер ячейки 1.1×1.1 мм, толщина волокна – 0.28 мм. СКТ были установлены вблизи города Керчь, в районе, отмеченном красным кружком на рис. 1б. Координаты 45.3063 с.ш., 36.4193 в.д. Высота над уровнем моря 94 м. С западной и северной стороны от места эксперимента находится равнинный участок протяженностью более 1 км. С востока и юга происходит снижение рельефа к уровню моря Керченского пролива (рис. 1б). В этой части города расположены одноэтажные дома, за пределами которых проведен эксперимент.

СКТ имеет площадь 1 м^2 , основание на высоте 1 м над землей, расстояние от плоскости сетки до ближайшего строения не менее 10 м. Сетки устанавливались так, что их стороны были направлены на север или юг (СЮ) (рис. 1в(1)), восток или запад (ВЗ) (рис. 1в(2)), юго-восток (ЮВ) или северо-запад (СЗ) (рис. 1в(3)). Всего установлено шесть сеток по две в каждом направлении. Сетка подлежала воздействию атмосферы, а туман продвигался сквозь нее ветром. Часть капель тумана оседала на сетчатом материале в результате удара. Когда скапливалось все больше тумана, капли объединялись и стекали по сетчатому материалу в желоб, а дальше в резервуар для хранения. Массу собранной воды определяли на цифровых лабораторных весах и округляли до целого значения в граммах. Время наступления и исчезновения тумана определялось визуально.

Кроме массы собранной воды, ежедневно фиксировались скорость и направление ветра, температура, влажность и атмосферное давление. Измерения указанных параметров выполнены цифровым мультиметром ККМОН TL-303. Численные данные метеорологических характеристик сравнивали с показаниями станции гидрометцентра Рос-

сии в городе Керчи, расхождение не превышало 5%. Результаты измерений и информация гидрометцентра регистрировались каждые 3 ч. Окончательные данные, принятые для дальнейшего анализа, получены расчетом среднего арифметического значения. За весь период испытаний направление ветра оставалось постоянным в каждый конкретный день наблюдений, соответственно этот параметр не усреднялся.

Для увеличения сопротивления важно, чтобы осаденная вода стекала с сетчатых волокон. Покрытие может изменить смачивающие свойства поверхности, так что даже небольшая капля может сойти с соответствующего волокна сетки [19, 20]. В данной работе часть сеток были покрыты NeverWet для изучения влияния смачивания на η_{dr} долю осаденной воды, которая стекает из нити, и впоследствии собирается в желоб, расположенный в нижней части сетки. NeverWet (Rust-Oleum Co., IL, США), коммерческое средство для создания супергидрофобных покрытий (СГП) [16]. NeverWet включает два аэрозоля, которые называются “базовый слой” и “верхний слой” соответственно. На поверхность образца первым наносился базовый слой, содержащий метилизобутилкетон, бутилацетат и минеральные спирты, путем равномерного распыления в 2–3 прохода с расстояния около 15 см в течение 3–4 с. После чего слой просыхал при нормальных условиях, созданных в лаборатории в течение 30 мин. Затем выполнялось осаждение верхнего покрытия, распылением частицы диоксида кремния [SiO₂] суспендированных в ацетоне. Поверхность сохранялась для дальнейшей сушки в обычных лабораторных условиях в течение не менее 12 часов до проведения исследований.

Изображение поверхностной структуры на сетках с СГП были получены с использованием оптического микроскопа SZM7045T-B1 с помощью видеоокуляра HDMI VGA 18MP HD USB TF, сопряженного с ПК. Размеры поверхностных структур также были измерены с использованием профилометра модели 130 завода “Протон”, который позволяет производить измерение шероховатости с высокой точностью (разрешение в направлении $z = 4$ нм).

Наблюдение и фотосъемка капель для определения угла контакта θ , осуществлялась на специально сконструированной установке, по схеме, описанной в [21, 22].

Метод наклонной плоскости [23] использовался для записи измерений и захвата изображений профилей падения непосредственно перед началом спуска для определения гистерезиса угла контакта.

Численный метод. Эффективность аэродинамического сбора тумана η_a оказывается основным фактором, влияющим насколько эффективно мож-

но собирать воду из тумана. Основная причина недостатка экспериментальных данных – это сложность и экономические трудности измерения скорости ветра вокруг коллектора тумана. Теоретический и численный анализ требует больших вычислительных затрат, особенно при рассмотрении потока жидкости в коллекторах вплоть до шкалы длины сетки. Предыдущие исследования изучали аэродинамическое поведение сборщиков тумана, однако они игнорировали эффекты между волокнами сетки, моделируя коллектор как пористую среду.

Предлагаемая модель CFD была разработана на основе метода Навье-Стокса, усредненного по Рейнольдсу (RANS) для трехмерного потока газа с использованием программного пакета ANSYS-CFX.

Основные математические уравнения, решаемые для анализа течения, представляют собой нестационарные уравнения Навье-Стокса в их консервативной форме. Для численного решения определяющие уравнения усредняются по времени. Полученные уравнения (3–5) решаются для каждой расчетной ячейки.

Уравнение неразрывности (закон сохранения массы)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \bar{U}) = 0. \quad (3)$$

Уравнение количества движения (закон сохранения импульса)

$$\frac{\partial \rho \bar{U}}{\partial t} + \nabla(\rho \bar{U} \times \bar{U}) = \nabla\{\tau - \overline{\rho u \times u}\} + S_M, \quad (4)$$

где τ – тензор молекулярных напряжений, скорость разделена на среднюю составляющую \bar{U} , и u изменяющуюся во времени составляющую, S_M – векторное поле внешних сил.

Уравнение энергии (закон сохранения энергии)

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho h_{tot}}{\partial t} - \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \bar{U} h_{tot}) = \\ = \nabla(\lambda \nabla \tau) + \nabla(\bar{U} \tau) + \bar{U} S_M + S_E, \end{aligned} \quad (5)$$

где полная энтальпия, связанная со статической энтальпией $h(T, p)$ соотношением:

$$h_{tot} = h_{stat} + \frac{1}{2} \bar{U}^2 + k, \quad k = \frac{1}{2} u^2.$$

Уравнение состояния $\rho = \rho(T, P)$.

В уравнениях (3–5) использованы следующие обозначения: P – давление, ρ – плотность, T – температура, t – время; S_E – работа внешних источников энергии, λ – коэффициент теплопроводности, ∇ – оператор Гамильтона.

Мы рассматриваем двухмерную модель стандартного коллектора тумана, который расположен на расстоянии $l_1 = 1$ м от входа и $l_2 = 1$ м от выхода воздушного потока (рис. 2).

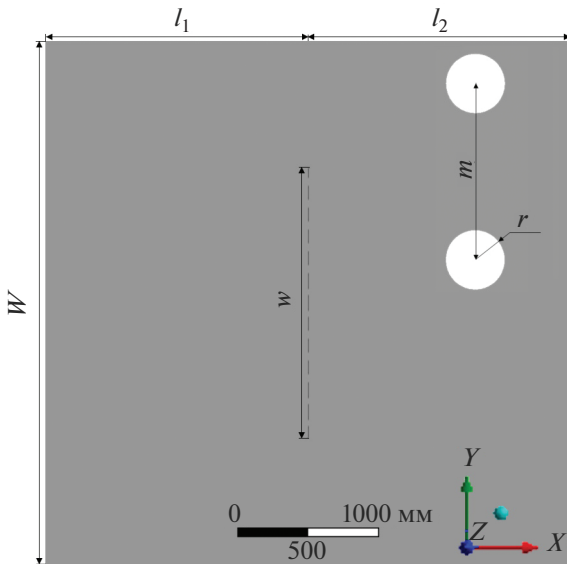


Рис. 2. Геометрия и размеры области моделирования; на вставке увеличенный вид сетки.

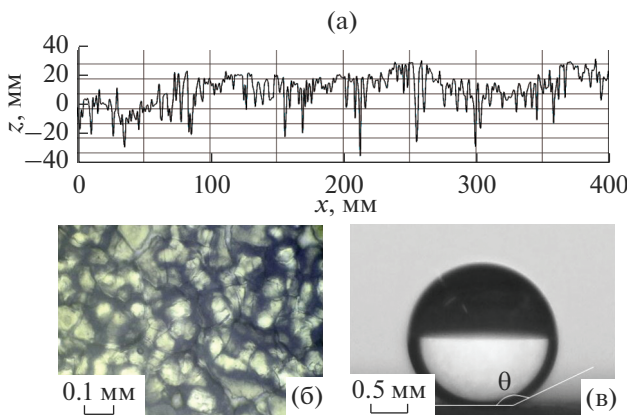


Рис. 3. Профиль шероховатости поверхности (а), оптическая микроскопия (б), капля в состоянии Касси-Бакстера на СГП сетки (в).

Ширина СКТ $w = 1$ м, а ширина области моделирования $W = 2.4$ м. Волокна сетки коллектора в сечении представляли окружность радиусом $r = 0.14$ мм. Таким образом, элементов сетки было 750 шт. Начало формирования задачи в пре-процессоре CFX связано с заданием материала тела основного домена и опорного давления. Моделирование выполнено для двухфазной, однородной среды. Компоненты — это непрерывный поток воздуха и дисперсный поток воды. Диаметр капель $5\text{--}60$ мкм, плотность тумана $0.1\text{--}0.5$ г/м³, в зависимости от интенсивности тумана. Опорное давление — 1 атм. Модель турбулентности потока выбрана Shear Stress Transport (SST). SST модель хорошо рассчитывает течения, как вблизи сте-

нок, так и в остальном потоке. Она стабильна и не требует больших вычислительных ресурсов. Параметры входа нормальная скорость — $1\text{--}7$ м/с в соответствии с экспериментом. Для выхода — статическое давление равно нормальное атмосферному давлению — 1 атм.

Заявленная модель сочетает в себе масштабы, отличающиеся на четыре порядка. От величины элементов сетки коллектора 0.1 мм до размеров области аэродинамического моделирования 1–2 м. Размеры модели подбирались так, чтобы исключить их влияние на результат. Мы изменяли ширину и длину всей области моделирования, но сравнивали только распределение скорости для $y = 1$ м от центра сетки. То есть 0.5 м сетки коллектора и 0.5 м с боку от нее. Аналогично подбирали l_1 и l_2 . Дальнейшее увеличение этих размеров не вносило изменений в распределение скорости около СКТ.

Кроме того, чтобы гарантировать независимость сетки в расчетах, мы протестировали различные плотности узлов и фиксировали распределение скорости. Сеточная модель, сгенерированная тетраэдрического типа для трех геометрий в среднем, состояла из 0.4 млн элементов и 0.2 млн узлов. Последовательное уменьшение размеров элементов в два раза привело к изменению анализируемого результата скорости не более чем на 4%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В табл. 1 представлены результаты эксперимента по сбору тумана в полевых условиях. В табл. 1 не указаны дни, когда туман отсутствовал в течение периода наблюдений или был дождь. Масса воды m в граммах определялась в среднем за час сбора t . То есть вся вода, стёкшая по сетке в желоб, делилась на время от наступления тумана, до момента пока он не рассеялся m/t . Временной период наличия тумана в атмосфере составлял от 3 до 9 часов в различные дни наблюдений. Кроме того, в табл. 1 указаны физико-климатические параметры, при которых выполнялся эксперимент. Отдельно рассмотрены сетки коллектора с и без СГП, указана их ориентация.

На рис. 3 представлены структурные и капиллярные свойства поверхности СГП. Типичный профиль профилометрии системы NeverWet показан на рис. 3а. Кластеризация и агломерация частиц, присутствующих в растворе, приводит к образованию шероховатости, среднее арифметическое и стандартное отклонение профиля которой составляют, соответственно, $R_a = 12$ мкм и $R_q = 15$ мкм. Общая высота $R_z = 127$ мкм и высота неровностей профиля $R_z = 122$ мкм характерны для системы NeverWet. Микроскопические полусферические выступы обеспечивали необходимую шероховатость рис. 3б для появления эффек-

Таблица 1. Результаты и физико-климатические условия сбора тумана ЮВ или СЗ, С или Ю, В или З означает ориентацию сетки, т.е. одна сторона на юго-восток другая северо-запад, на север и юг, восток и запад соответственно

День	Температура, °С	Скорость ветра, м/с	Направление ветра	Давление, гПа	Влажность воздуха, %	Без СГП (г/ч)			СГП (г/ч)		
						ЮВ или СЗ	С или Ю	В или З	ЮВ или СЗ	С или Ю	В или З
1	11	1.1	Восток	1013.3	97	32	40	30	17	26	26
2	11	0.2	Север	1023.9	96	43	45	50	20	11	14
3	12	1.4	Юго-восток	1025.2	98	83	20	14	67	0	0
4	10	0	Запад	1022.6	95	17	29	41	17	16	18
5	9	2.1	Север	1025.2	92	0	33	52	0	9	10
6	11	2.5	Юг	1019.9	89	34	23	24	21	18	21
7	11	1.8	Северо-запад	1017.2	99	91	22	58	0	22	20
8	4	5.9	Север	1029.2	65	145	250	340	87	100	123
9	1	3.5	Северо-восток	1035.9	67	78	120	176	54	88	97
10	6	3.8	Восток	1026.6	85	32	20	37	36	22	20
11	6	3.7	Северо-восток	1023.9	86	10	19	19	14	13	15
12	2	6.3	Северо-восток	1033.2	72	0	4	9	0	0	0
13	2	3.8	Восток	1026.6	84	77	78	90	32	52	60
14	1	1.9	Северо-восток	1023.9	88	46	53	60	32	22	27
15	4	0.2	Северо-восток	1018.6	91	29	24	30	12	15	17
16	7	3	Юго-запад	1011.9	81	14	14	22	14	16	28
17	5	2.2	Запад	1015.9	91	0	8	17	0	0	0
18	8	3	Юго-запад	1015.9	89	24	21	22	8	0	0
19	8	1.4	Запад	1014.6	96	17	11	13	11	22	15
20	1	4.7	Север	1022.6	62	0	9	11	0	3	8
21	2	1.7	Северо-восток	1027.9	79	27	40	20	16	25	30
22	0	1.2	Восток	1021.2	94	20	10	15	13	10	10

та несмачивания и перехода капли в состояние Касси-Бакстера (рис. 3в). Для капель объемом 5 мкл: краевой угол $\theta = 153^\circ$, гистерезис $\approx 2^\circ$. Сетка без СГП: краевой угол $\theta = 57^\circ$, гистерезис $\approx 27^\circ$.

На основном этапе обработки результатов мы определили среднее количество воды отдельно для двух типов покрытий, собранное за день испытаний. Для анализа общей тенденции сбора не учитывались погодные условия и ориентация СКТ. На рис. 4 показана средняя масса воды (в граммах), полученная за час m/t с трех обычных и трех супергидрофобных коллекторов.

Из диаграммы на рис. 4 следует, что для имеющихся погодных условий и геометрии использованной сетки в каждый день испытаний было собрано больше воды на обычной сетке без СГП. Такая зависимость сохранится, если отсортировать данные по ориентации СКТ в пространстве.

Количественно воды из тумана на сетках без СГП было собрано в 1.81 раза больше.

Рассмотрим модель для объяснения результатов сбора тумана на различных покрытиях. Из-за силы тяжести крупные капли, которые конденсируются на сетке, могут спускаться вниз в желоб для сбора. Однако маленькие капли могут застрять на волокнах и, следовательно, не будут собраны. Следовательно, для повышения эффективности сбора важно собрать как можно больше “крошечных” капель. Количественной характеристикой смачиваемости является угол контакта θ и разница между наступающим θ_{adv} и отступающим углами θ_{res} (гистерезис угла контакта). θ определяется как угол между касательной в тройной точке границы раздела и твердой поверхностью. Величина угла θ капли связана с межфазными энергиями, действующими между границами раздела твердое тело–жидкость (f_{SL}), поверхностной энергией твер-

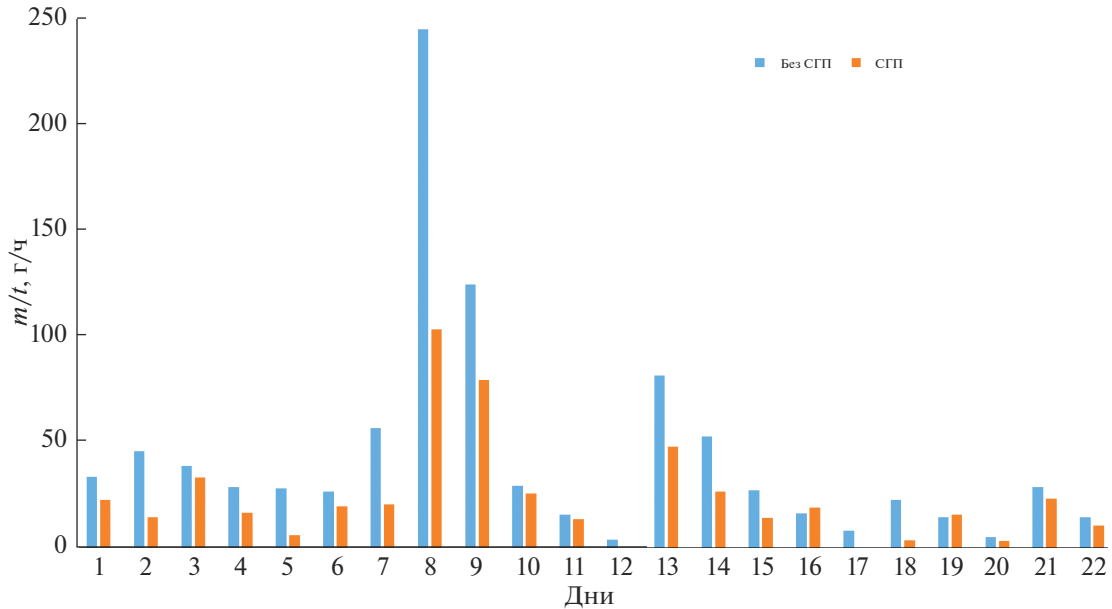


Рис. 4. Средняя масса воды, собранная за час в туманный день эксперимента для двух типов коллекторов.

дое тело–пар (f_{SV}) и энергией жидкость–пар (f_{LV}) соотношением:

$$\cos\theta = \frac{f_{SV} - f_{SL}}{f_{LV}}. \quad (6)$$

Из (6) следует, что чем ниже поверхностная энергия, тем больше краевой угол и меньше смачиваемость твердого тела. Если угол контакта $\theta < 90^\circ$ – поверхность обладает гидрофильными свойствами, $\theta > 90^\circ$ соответствует гидрофобному взаимодействию. Увеличение угла контакта до значений $\theta > 150^\circ$ и снижение значения гистерезиса $\theta_{adv} - \theta_{res} < 10^\circ$ свидетельствует о переходе в супергидрофобное состояние.

Капля на подложке, которая наклонена на угол β , испытывает гравитационную силу G и пороговую силу сцепления F . Две силы, соответственно, имеют следующие выражения:

$$G = \rho g V \sin\alpha, \quad (7)$$

$$F = Df (\cos\theta_{res} - \cos\theta_{adv}), \quad (8)$$

где ρ – обозначает массовую плотность жидкости, g – гравитационное ускорение, V – объем капли, а D – диаметр основания капли. В результате геометрического анализа, когда V фиксирован, F уменьшается с увеличением θ и уменьшением гистерезиса. Если $G \leq F$ капля движется вниз от подложки. Таким образом, с целью уменьшения F , нужно добиться как можно более высокого θ за счет повышения гидрофобности поверхности.

На гладкой поверхности θ обычно меньше 120° , даже если эта поверхность покрыта сильно

водоотталкивающими материалами [24]. Следовательно, чтобы сделать угол контакта значительно выше 120° , добавляют шероховатость структуры на поверхности. Когда капля жидкости находится на шероховатой поверхности, возможны два состояния смачивания: Венцель или Кэсси–Бакстер [25]. В состоянии Венцеля капля полностью заполняет канавки между структурами шероховатости (например, столбами и каналами), в то время как в состоянии Кэсси–Бакстер воздух задерживается между этими структурами, и капля остается сверху шероховатость конструкций и захваченный воздух.

Рассчитаем пороговую силу сцепления F по уравнению (8) для двух типов сеток. Примем диаметр основания капли равен диаметру волокна сетки, а величина коэффициента поверхностного натяжения воды $f = 72$ мН/м. Тогда для сетки с СГП $F = 0.3$ мкН, а без покрытия 8 мкН. Соответственно из (7) следует, чтобы преодолеть силу сцепления капля должна быть объемом 0.03 и 0.8 мкл. Эти значения объема капли на 6–7 порядком больше капель естественного тумана. Поэтому однозначно необходимо время для их сливания и роста на волокнах сетки. В таком случае мы должны учесть возможный унос капель обратно в атмосферу. Сила, действующая в направлении ветра по модулю, будет равна силе вязкого трения. Для тела сферической формы:

$$F_{тр} = 6\pi\eta r u, \quad (9)$$

где η – динамический коэффициент вязкости тумана. Вязкость тумана может в сотни раз превышать вязкость воздуха. Выполненный сравнитель-

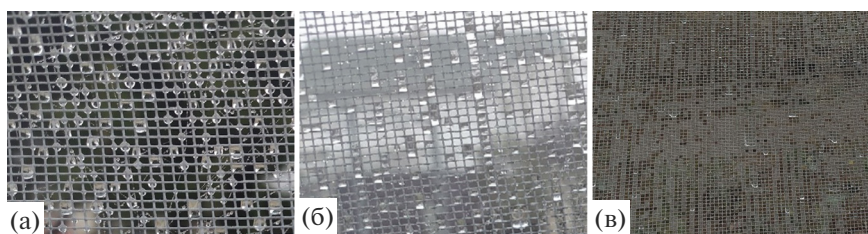


Рис. 5. Капли тумана на сетке с СГП (а) и без покрытия (б, в).

ный анализ [26] вязкости позволил определить $\eta = 85.3 \times 10^{-5}$ Па с для условий, представленных в работе. Тогда в интервале скоростей $u = 1-7$ м/с и радиусов капель, соответствующих объемам, полученным из (7) $F_{\text{тр}} = 1-10$ мкН. Из такого сравнения можно сделать вывод, что капля в состоянии Касси–Бакстера и объемом до 1 мкл будет уноситься ветром, а не попадать в коллектор.

Процесс конденсации капель на СГП может проходить в несколько стадий [27]. На первом этапе капли зарождаются и растут без значительных взаимодействий, и начальный охват поверхности незначительный. Видимые капли образуются между бугорками шероховатости поверхности. Зарождение жидкой фазы активно происходит в местах трещин или меньшей толщины СГП. На втором этапе покрытие поверхности водой достаточно для того, чтобы капли слипались вместе, но центр масс сливающихся капель существенно не изменяется. Когда средний диаметр капель на СГП достигает порогового значения, коалесценция приводит к мобилизации и подвижному слиянию капель. В результате увеличение жидкости способствует удалению капель из впадин шероховатости поверхности и переход в состояние Касси–Бакстера. Однако возможно и продолжение заводнения СГП. Таким образом, результат взаимодействия капель тумана и материала сетки зависит не только от шероховатости поверхности и баланса поверхностных энергий, но и механизма этого взаимодействия.

На сетках с СГП заметен определенный вид образования и роста капель. Они в большинстве находятся на пересечении волокон, где обеспечивается большая площадь контакта с твердой поверхностью (рис. 5а). На СКТ без покрытия вода в основном занимает область ячейки (рис. 5б). Занятая ячейка стеканием воды способствует заводнению находящейся ниже. В результате такого соединения образуется треки ячеек с водой по всей длине сетки (рис. 5в). С одной стороны, подобное явление засоряет сетку и нарушает ее аэродинамику. Однако образованный водный трек может ускорить процесс стекания в желоб и уменьшить потерю капель обратно в атмосферу. Видимо по этой причине многие исследователи в этой обла-

сти определили структуру сетки “арфой” как оптимальную для сбора тумана [12, 28].

Для эффективного сбора на СГП необходимо выполнение нескольких важных условий. Во-первых, капли тумана должны оседать и стадию неподвижной коалесценции проходить между бугорками шероховатости. Во-вторых, при переходе капли в состояние Касси–Бакстера она должна иметь достаточный объем, чтобы перекрывать большую площадь контакта с волокнами сетки для обеспечения силы сцепления при падении в желоб.

Проанализируем результаты в таб. 1 с помощью основных параметров эффективности сбора (1). Рассмотрим модель аэродинамической эффективности сбора, предложенную в [13], которую успешно применили и другие авторы [9, 14]. Согласно этой модели

$$\eta_a = \frac{A_0}{A_1} s, \quad (10)$$

где A_0 – площадь невозмущенной области трубки потока, которая проходит через сетку, а A_1 – площадь сетки, s – коэффициент затенения. При постоянной плотности ρ уравнение непрерывности можно написать, как:

$$u_0 A_0 = u_1 A_1, \quad (11)$$

где u_0 – скорость невозмущенного потока, u_1 – вынужденного проходить через сетку.

С учетом (11) получено:

$$\eta_a = \frac{u_1}{u_0} s. \quad (12)$$

На рис. 6 показаны результаты численного моделирования поля скоростей СКТ. Скорость невозмущенного потока равна скорости заданной на входе аэродинамической области и для представленной модели $u_0 = 3$ м/с. Скорость потока воздуха вынужденного проходить через сетку $u_1 = 2.7$ м/с. Коэффициент затенения, для выбранных размеров ячейки и толщины волокна $s = 0.2$. Тогда рассчитанная по (12) аэродинамическая эффективность сбора $\eta_a = 0.18$.

Вычисления для всех заявленных скоростей ветра показало, что аэродинамическая эффектив-

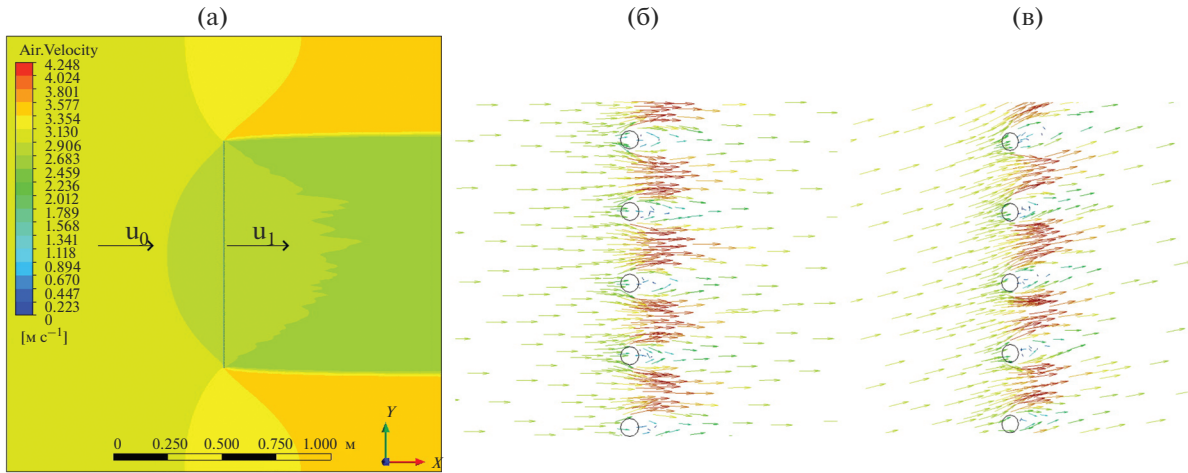


Рис. 6. Распределение скорости в области стандартного коллектора тумана (а) и векторное поле скоростей в центре (б) и на краю (в) сетки.

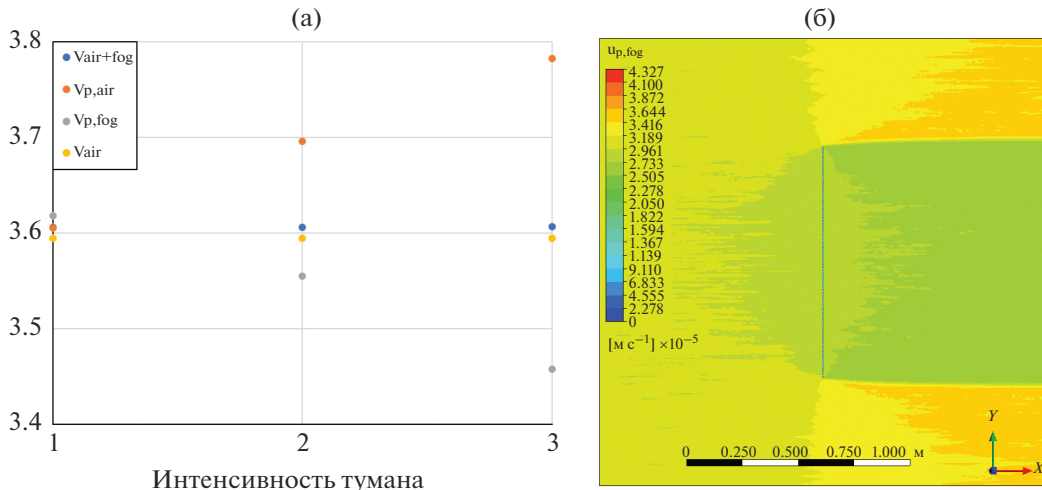


Рис. 7. Зависимость относительной аэродинамической эффективности от интенсивности тумана (а), распределение парциальной скорости капель тумана (б).

ность сбора растет и в интервале $u_0 = 1-7$ м/с составляет $\eta_a = 0.179-0.184$. Однако зависимость от скорости ветра выявляется в тысячных долях, что соизмеримо с погрешность вычисления скорости u_1 . Поэтому в дальнейших расчетах мы считаем η_a постоянной в этом диапазоне скоростей ветра. Тем более эти значения соответствуют средней части сетки, где поток перпендикулярен плоскости коллектора. Векторное поле скоростей в центре и на краю сетки представлены на рис. 6б, 6в. Отклонение потока ветра должно учитываться при расчете аэродинамической эффективности сбора. Тогда равенство (11) будет иметь вид: $u_0 A_0 = u_1 A_1 \sin \alpha$ [5]. Угол α откладывается от поверхности СКТ. С учетом этого, η_a в центре (рис. 5б) может отличаться от края (рис. 6в) на 10% для $s = 0.2$.

Результаты моделирования, представленные на рис. 6а, получены для смеси двух сред: однородной — воздуха, дисперсной — тумана. В расчете аэродинамических характеристик сетки коллектора учитывается их общее значение скорости — $u_{air+fog}$ [3, 8, 12–14]. Предложенная в данной работе численная модель позволяет разделить смесь на парциальные компоненты. Таким образом, мы отдельно рассмотрели распределение скорости воздуха $u_{p,air}$ и частиц тумана $u_{p,fog}$. Кроме того, для достаточного анализа аэродинамики продублировали расчет при отсутствии тумана в воздухе u_{air} и оценили влияние интенсивности тумана на указанные значения скорости. Интенсивность тумана моделировалось изменением диаметра капель и плотности. На рис. 7а показана зависимость от-

носительной аэродинамической эффективности $\omega = \frac{|0.18 - \eta_a|}{0.18}$, выраженной в процентах, от интенсивности тумана. Слабым считался туман при диаметре капель 5–10 мкм и плотности 0.1–0.2 г/м³ (рис. 7а (1)), умеренным – 20–40 мкм и 0.3 г/м³ (рис. 7а (2)), сильным – 50–60 мкм и 0.4–0.5 г/м³ (рис. 7а (3)).

При одинаковых начальных условиях η_a , рассчитанное по (12), смеси воздуха и тумана больше, чем при отсутствии тумана (рис. 7а). Данная тенденция наблюдается во всем интервале скоростей потока на входе модели (1–7 м/с) и интенсивности тумана. Туманный воздух будет иметь больший перепад скоростей до и после сетки коллектора, при этом отношение u_1/u_0 не зависит от диаметра капель и плотности тумана. Главным образом, интенсивность тумана влияет на парциальные компоненты скорости воздуха и тумана (рис. 7а). $u_{p,fog}$ снижается при увеличении диаметра и плотности капель. Большие капли инертны и для их разгона и торможения требуется больше времени. Воздух в большей степени обтекает капли тумана и не теряет энергии на изменение их скорости, что вызывает увеличение $u_{p,air}$ (рис. 7а).

Разделение составляющих смеси туманного воздуха показало, что $u_{p,fog}$ на 5 порядков меньше $u_{p,air}$ (рис. 7б). Распределение парциальной скорости тумана имеет более хаотичный характер чем $u_{air+fog}$ (рис. 6а). Тем не менее отношение скоростей в (12) приводит к идентичности результата $\eta_a \approx 0.18$, независимо от характера скорости, принятой для расчета.

Определение $u_{p,fog}$ позволяет рассчитать теоретическое значение m/t . В зависимости от интенсивности тумана общая масса, прошедшая через СКТ за единицу времени, находится в интервале 22–30 г/ч, что согласуется с результатами в табл. 1 и подтверждает корректность модели.

Эффективность осаждения η_{cap} – это доля тумана, захваченная сеткой с инерционным воздействием, напрямую связана с числом Стокса (Stk)

$$Stk = \frac{2\rho_w}{9\rho_a} Re_R \left(\frac{r_f}{R} \right)^2. \quad (13)$$

где ρ_a – плотность воздуха, ρ_w – плотность воды, μ_{air} – вязкость воздуха, а $Re_R = \rho_a u_0 R / \mu_w$ выражается числом Рейнольдса. Уравнение (13) помогает получить отношение времени отклика частицы к окружающему потоку. Для эффективности осаждения было предложено следующее соотношение:

$$\eta_{cap} = \frac{Stk}{Stk + \frac{\pi}{2}}. \quad (14)$$

Таблица 2. Показатели эффективности сбора тумана

День	Показатель эффективности сбора				
	η_{cap}	η_{coll}	η_{coll} , СГП	η_{dr}	η_{dr} , СГП
1	0.207	0.043	0.029	1	0.780
2	0.045	0.319	0.104	1	1
3	0.249	0.039	0.033	0.863	0.741
4	0.192	0.040	0.024	1	0.685
5	0.332	0.019	0.004	0.313	0.070
6	0.372	0.015	0.011	0.224	0.166
7	0.299	0.044	0.016	0.817	0.301
8	0.583	0.058	0.024	0.550	0.232
9	0.453	0.049	0.032	0.606	0.387
10	0.474	0.011	0.010	0.127	0.111
11	0.467	0.006	0.005	0.071	0.062
12	0.599	0.001	0.000	0.009	0.000
13	0.474	0.030	0.018	0.350	0.206
14	0.310	0.039	0.020	0.693	0.353
15	0.045	0.192	0.102	1	1
16	0.415	0.008	0.009	0.103	0.120
17	0.343	0.005	0.000	0.087	0.000
18	0.415	0.011	0.002	0.142	0.025
19	0.249	0.015	0.016	0.332	0.354
20	0.527	0.002	0.001	0.017	0.011
21	0.287	0.024	0.019	0.458	0.374
22	0.221	0.017	0.013	0.436	0.319
Ср. знач.	0.344	0.045	0.022	0.725	0.361

Большое значение Stk ($Stk \gg 1$) приводит к лучшему захвату капель сеткой, что в конечном итоге обеспечивает более высокую эффективность сбора тумана. С помощью данных эксперимента (табл. 1) и численного моделирования мы определили η_{cap} для каждого дня измерений. Результаты представлены в табл. 2. Согласно (13) и (14) эффективность осаждения не зависит от смачивающих свойств поверхности. Поэтому η_{cap} одинаков для сеток с СГП и без него. Анализ результатов свидетельствует, что наименьшая ширина нити сетки приводит к более высокой эффективности η_{cap} . Скорость ветра и размер капель обратно пропорциональны ширине, что снижает инерцию капель, и приводит к снижению эффективности, так как мелкие капли начинают двигаться по ленте вместе с воздушным потоком.

Полной характеристикой эффективности сбора воды из тумана является η_{coll} , рассчитанное согласно уравнения (2) и результатов табл. 1, от-

дельно для двух типов покрытия сеток (табл. 2). Среднее значение η_{coll} соответствует нижней границе для однослойных стандартных коллекторов тумана, который испытывались в полевых условиях. Эффективность дренажа η_{dr} — доля объема воды, которая в конечном итоге достигает желоба, характеристика которую зачастую принимают равной единице, особенно в лабораторных исследованиях сбора тумана. Однако такое допущение не реализуется в реальных условиях эксперимента. Если оценить коэффициенты в уравнении (1), то η_a и η_{cap} не зависят от покрытия сетки. Эти параметры можно увеличить за счет оптимизации геометрии сетки для определённых погодных условий. Выразив η_{dr} из уравнения (1) с учетом $\eta_a = 0.18$ и η_{cap} указанного в табл. 2 мы рассчитали эффективность дренажа. В среднем для СГП η_{dr} в 2 раза меньше, чем у сетки без покрытия, что и вызывает итоговую разницу η_{coll} (рис. 4). Механизм сбора тумана основан на быстром стекании капель воды, при этом нижний край сетки находится внутри желоба коллектора. Стекания капель не требует большой ширины желоба. Наличие СГП может не только ускорить процесс стекания, но вызвать отрыв капель. В таком случае, даже при малых скоростях ветра, будет происходить возврат капель в атмосферу и снижение эффективности сбора. Особенно ухудшение дренажа будет наблюдаться в условиях реального эксперимента, так как естественные порывы ветра и вибрация сетки уменьшит долю собранной воды.

Из результатов в табл. 1 следует также отметить, что перпендикулярность сетки не всегда обеспечивает лучшую эффективность сбора. Сетки, расположенные под 45° к потоку ветра, чаще собирали больше воды. Этот эффект связан с особой аэродинамикой места установки СКТ, так как одинаково проявлялся для СГП и сеток без покрытия. Возможно, это связано с низкими скоростями ветра во время эксперимента. Например, результаты, полученные в Латинской Америке [9] выполнены при скорости 5–10 м/с.

С другой стороны, если сгруппировать данные для каждого направления, то при восточном ветре суммарная масса собранной воды больше, чем в остальные дни. Это подтверждает тот факт, что туманы приходят с моря, которое находится восточнее от места испытаний. В зависимости от интенсивности тумана и скорости ветра оптимальными условиями для сбора воды является умеренный туман при 3.5–4 м/с. При таких погодных условиях выявляется баланс между аэродинамической эффективностью и дренажом. Более точное описание кинетики сбора воды требует учета дополнительных факторов полевых условий. Расстояние между сеткой и землей, шероховатость поверхности, топография местности, близлежащая растительность, кривизна сетки являются

важными факторами, определяющими скорость, давление и распределение турбулентности вблизи коллектора тумана. Выявление подобных закономерностей трудоемкая задача, которую трудно реализовать при помощи измерительных приборов и численных методов.

Также, по результатам измерений можно проследить прямую зависимость массы собранной воды от влажности и атмосферного давления, если выбирать из табл. 1 значения с одинаковой скоростью и направлением ветра. Однако эта зависимость выражена слабо по сравнению кинематическими характеристиками воздуха.

Конструкция сетки в большей степени влияет на повышение общей эффективности коллектора. Большая часть тумана не улавливается или обратно возвращается в атмосферу. Структура сетки должна обеспечить наименьший перепад давления, за счет выбора оптимального значения коэффициента затенения s , что приведет к увеличению аэродинамической эффективности. Цилиндрическая форма волокна, является оптимальной из-за более плавного воздушного потока и низкого сопротивления. Чем больше доля капель тумана, столкнувшихся с нитями сетки коллектора, тем выше Sik , а следовательно, и эффективность осаждения. Эффективность дренажа важный элемент во всем механизме, потому что капли тумана ударяются о сетку, однако не достигают хранилища.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сбор воды из тумана экономичный и экологичный способ, который способен оптимизировать водоснабжение засушливых районов. В результате выполненного полевого эксперимента, с использованием сетки стандартного коллектора, определена средняя производительность сбора воды для погодных условий характерных Керченскому полуострову. Количественная оценка коэффициентов эффективности сбора, сделанная с помощью численного моделирования, позволила определить эффективность аэродинамики и осаждения капель тумана. Использование покрытий для повышения гидрофильности поверхности сетки показало ухудшение производительности сбора. С увеличением угла контакта смачивания снижается сила сцепления и капля не стекает по волокну в желоб для сбора, а отрывается и возвращается обратно в атмосферу. Данное явление подтверждается анализом сил действующих на каплю и вычислением коэффициента дренажа для двух типов покрытий.

Конечно, получение воды из тумана не может полностью решить проблему нехватки водных ресурсов. Однако перспектива практического применения результатов исследования хорошо прослеживается особенно для Крымского полуост-

рова. Реализация сбора тумана будет весомым вкладом в наполнение существующих водохранилищ, которые на данный момент являются основным средством водоснабжения населения. Тем более, их заполняемость, в основном, связана с атмосферными осадками, которые, как и туманы, обильно возникают в осенне-зимний период в этом регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shanyengana E.S., Sanderson R.D., Seely M.K., Schemenauer R.S.* Operational Paper Testing greenhouse shade nets in collection of fog for water supply // *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. 2003. V. 52. № 3. P. 237–241.
2. *Klemm O., Schemenauer R.S., Lummerich A., et al.* Fog as a fresh-water resource: overview and perspectives // *AMBIO*. 2012. V. 41. P. 221–234.
3. *Fessehaye M., Abdul-Wahab S.A., Savage M.J., et al.* Fog-water collection for community use // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. V. 29. P. 52–62.
4. *Domen J.K., Stringfellow W.T., Camarillo M.K., Gulati S. et al.* Fog water as an alternative and sustainable water resource // *Clean Technol. Environ. Policy*. 2014. V. 16. № 2. P. 235–249.
5. *Ghosh R., Ray T.K., Ganguly R.* Cooling tower fog harvesting in power plants – A pilot study // *Energy*. 2015. V. 89. P. 1018–1028.
6. *Comstock K.K., Bretherton C.S., Yuter S.E.* Mesoscale variability and drizzle in southeast pacific stratocumulus // *Journal of the atmospheric sciences*. 2005. V. 62. № 10. P. 3792–3807.
7. *Kim C.K., Yum S.S.* A numerical study of sea-fog formation over cold sea surface using a one-dimensional turbulence model coupled with the weather research and forecasting model // *Boundary-Layer Meteorology*. 2012. V. 143. № 3. P. 481–505.
8. *Schemenauer R.S., Cereceda P., Osses P.* Fogquest: Fog water collection manual. 2005. 120 p.
9. *Holmes R., Rivera J. de D., de la Jara E.* Large fog collectors: New strategies for collection efficiency and structural response to wind pressure // *Atmospheric Research*. 2015. V. 151. P. 236–249.
10. *Ali N.B.H., Rhode-Barbarigos L., Albi A.A.P., Smith I.F.* Design optimization and dynamic analysis of a tensegrity-based footbridge // *Engineering Structures*. 2010. V. 32. № 11. P. 3650–3659.
11. *Quirant J., Kazi-Aoual M., Motro R.* Designing tensegrity systems: the case of a double layer grid // *Engineering Structures*. 2003. V. 25. № 9. P. 1121–1130.
12. *Park K.C., Chhatre S.S., Srinivasan S., et al.* Optimal design of permeable fiber network structures for fog harvesting // *Langmuir*. 2013. V.29. № 43. P. 13269–13277.
13. *Rivera J. de D.* Aerodynamic collection efficiency of fog water collectors // *Atmospheric Research*. 2011. V. 102. № 3. P. 335–342.
14. *Azeem M., Noman M.T., Wiener J., et al.* Structural design of efficient fog collectors: A review // *Environmental technology and innovation*. 2020. V. 20. P. 101169.
15. *Azad M.A.K., Ellerbrok D., Barthlott W., et al.* Fog collecting biomimetic surfaces: Influence of microstructure and wettability // *Bioinspiration and biomimetics*. 2015. V. 10. № 1. P. 016004.
16. *Rajaram M., Heng X., Oza M., et al.* Enhancement of fog-collection efficiency of a Raschel mesh using surface coatings and local geometric changes // *Colloids and surfaces A: physicochemical and engineering aspects*. 2016. V. 508. P. 218–229.
17. *Almasian A., Fard G.C., Mirjalili M., et al.* Fluorinated-PAN nanofibers: Preparation, optimization, characterization and fog harvesting property // *Journal of industrial and engineering chemistry*. 2018. V. 62. P. 146–155.
18. *Seo D., Lee J., Lee C., et al.* The effects of surface wettability on the fog and dew moisture harvesting performance on tubular surfaces // *Scientific Reports*. 2016. V. 6. № 1. P. 1–11.
19. *Kim G.-T., Gim S.-J., Cho S.-M., et al.* Wetting-transparent graphene films for hydrophobic water-harvesting surfaces // *Advanced materials*. 2014. V. 26. P. 5166–5172.
20. *Lee A., Moon M.-W., Lim H., et al.* Water harvest via dewing // *Langmuir*. 2012. V. 28. P. 10183–10191.
21. *Zhao T., Jiang L.* Contact angle measurement of natural materials // *Colloids and surfaces B: biointerfaces*. 2018. V. 161. P. 324–330.
22. *Уколов А.И., Попова Т.Н.* Исследование краевого угла капли морской воды при испарении на супергидрофобной поверхности стали А40S с учетом гравитации // *Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества*. 2018. Т. 15. № 2. С. 102–107.
23. *ElSherbini A.I., Jacobi A.M.* Retention forces and contact angles for critical liquid drops on non-horizontal surfaces // *Journal of colloid and interface science*. 2006. V. 299. № 2. P. 841–849.
24. *Lafuma A., Quere D.* Superhydrophobic states // *Nature Materials*. 2003. V. 2. P. 457–460.
25. *Genzer J., Efimenko K.* Recent developments in superhydrophobic surfaces and their relevance to marine fouling: a review // *Biofouling*. 2006. V. 22. № 5. P. 339–360.
26. *Шавлов А.В., Соколов И.В., Джуманджи В.А.* Вязкость и электрические свойства водных аэрозолей // *Доклады академии наук*. 2016. Т. 61. № 9. С. 429–434.
27. *Попова Т.Н., Уколов А.И.* Кинетические и термодинамические свойства конденсации пара на супергидрофобной поверхности теплообменных аппаратов // *Вестник керченского государственного морского технологического университета*. № 1. 2021. С. 99–111.
28. *Shi W., Anderson M.J., Tulkoff J.B., et al.* Fog harvesting with harps // *ACS Applied materials & interfaces*. 2018. V. 10. № 14. P. 11979–11986.

Evaluation of the Effectiveness and Impact of Wetting the Surface of the Collector Mesh on the Process of Collecting Atmospheric Fog

A. I. Ukolov¹, * and T. N. Popova¹

¹*Kerch State Maritime Technological University, Ordzhonikidze str., 82, Kerch, Republic of Crimea, 298309 Russia*

**e-mail: Ukolov_aleksei@mail.ru*

Fog collectors can be an efficient source of fresh water in areas with constant air advection. A key feature of any collection device is the mesh used to capture the fog droplets. In this paper, we combine a fog collection experiment performed in natural field conditions for meshes with different degrees of wetting of the fibers with a theoretical analysis of the aerodynamics of air near the collector, carried out on the basis of computer simulation of the flow. The obtained overall collection efficiency of a collector grid with a shading coefficient $s = 0.2$ for the weather conditions of the Kerch Peninsula was $\eta_{coll} = 0.045$ for a hydrophilic and $\eta_{coll} = 0.022$ for a superhydrophobic surface. This phenomenon is confirmed by the analysis of the forces acting on the drop and the calculation of the drainage coefficient for two types of coatings. It has been shown that droplets with a volume of up to $1 \mu\text{L}$ will not fall into the collection trough, but will overcome the cohesion force and return back to the atmosphere. In general, the described technology is simple, economical and does not require energy consumption. Based on the experience of several countries, the effectiveness of a technology can be guaranteed if technical, social and managerial factors are taken into account in its planning and implementation.

Keywords: fog, water, superhydrophobicity, collector mesh, aerodynamics