

**Михайлов Л.В., Ерсайн Р.Ж., Михайлова С.Л.*,
Исмаилова Г.А., Соколов А.С.**

Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
Казахстан, г. Алматы, *email: svetik.mikhailova@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЛАВЛИВАНИЯ ПЫЛИ ОКОННЫМ ОЧИСТИТЕЛЕМ ВОЗДУХА

Можно использовать фасады жилых и административных городских строений для очистки воздушного бассейна города от пыли и гари, включив их в бытовые системы и устройства smart фасадов зданий. В этом случае достигается не только экологическая цель по борьбе со смогом, но и за счёт использования солнечных панелей и энергосбережения в системах, повышающих комфортность помещения, решаются экономические проблемы рентабельного использования альтернативных источников энергии и снижения выбросов парниковых газов. Поскольку пользователем устройств пылеулавливания предполагается сделать физических лиц, одной из задач становится необходимость разработать безопасный и экономичный способ очистки воздушных масс. Для этого нужно воспользоваться потоками возобновляемой энергии, поступающими на фасады зданий и оконные проёмы: восходящие и нисходящие воздушные потоки, солнечное излучение, тепловые потоки. Одна из важнейших задач сформировать потребительский спрос, на устройства использующие разрабатываемый способ очистки воздуха от пыли и гари. Для этого необходимо найти сопутствующие потребительские функции, которые были бы совмещены в одном устройстве с очистителем воздуха. В работе показано, что напряжения $U_э = 600$ В на аккумуляторе и затрат энергии в 50 Дж будет вполне достаточно, чтоб зарядить частицы пыли и не допустить их сдувания воздухом.

Ключевые слова: пыль, смог, очистка, улавливание, фотоэлектричество, свет, тепло, smart окно.

Mikhailov L.V., Yersayn R.Zh., Mikhailova S.L.*,
Ismailova G. A., Sokolov A. S.

Al-Farabi Kazakh National University,
Kazakhstan, Almaty, *email: svetik.mikhailova@gmail.com

Modeling of the collating dust process by a window air cleaner

You can use the facades of residential and administrative urban buildings to clean the city's air from ash and dust, including them in household systems and devices of smart building facades. In this case, not only the ecological task of smog control will be achieved, but economic problems with efficient use of alternative energy sources and reducing greenhouse gas emission using solar panels and energy saving technology in systems that improve comfort of the rooms as well. Since users of dust-collected devices are supposed to be natural persons, one of the tasks is requirement to develop a safe and economy-type of air cleaning. So, it is necessary to use of renewable energy flows coming to the building facades and windows which are upstream and downstream air, solar irradiation and heat flows. One of the most important tasks is to generate consumer demand for devices using the developed method of air cleaning from ash and dust. To do this, it is essential to find accompanied consumer functions that will be united in one device with an air purifier. It is shown that voltage $U_э = 600$ V and the battery energy costs 50J will be sufficient to charge the dust particles and prevent them from deflating air.

Key words: dust, smog, cleaning, capture, photo electricity, light, heat, smart facade, window.

Михайлов Л.В., Ерсайн Р. Ж., Михайлова С.Л. *,
Исмаилова Г.А., Соколов А.С.

Әл-Фараби ат. Қазақ ұлттық университеті,
Қазақстан, Алматы қ., *e-mail: svetik.mikhailova@gmail.com

Шаңсорғышты ауа тазартқыштан тазарту процесін модельдеу

Тұрғын және әкімшілік қала ғимараттарының қасбеттерін қаланың әуе бассейнін шаңнан және түтіннен тазалау үшін тұрмыстық жүйелерге және смарт ғимарат қасбеттеріне енгізіп пайдалану. Бұл ретте түтінмен күресуде экологиялық мақсат қана орындалып қоймай, сонымен қатар үй-жайлардың жайлылығын жақсартатын энергия үнемдеуші жүйелер мен күн панельдерін пайдалану арқылы баламалы энергия көздерін оңтайлы қолданып және парниктік газдар шығындарын азайтып экономикалық мәселелер шешімін табады. Шаңды жинау құралдарын пайдаланушылар ретінде жеке тұлғалар болатындықтан, міндеттердің тағы бірі болып ауа массасын тазалаудың қауіпсіз және үнемді әдісін әзірлеу қажеттілігі болып табылады. Ол үшін ғимараттардың қасбеттеріне және терезелердің ойықтарына келетін: көтерілетін және түсетін ауа ағындары, күн сәулесі, жылу ағыны секілді жаңартылатын энергия ағындарын пайдалану қажет. Ең маңызды міндеттердің бірі ауаның шаң мен күйеден тазарту әдісін қолданатын аспаптарға деген тұтынушылық сұранысты қалыптастыру. Мұны істеу үшін ауаны тазартқышпен бірге бір құрылғыға біріктіретін тиісті тұтынушы функцияларын табу қажет. Зертте көрсетілгендей, батареяда $U_e = 600$ В кернеуі мен 50 Дж энергияның құны шаңның бөлшектерін зарядтауға және ауа ағады.

Түйін сөздер: шаң, түтін, тазалау, ұстап қалу, фотоэлектрлік, жарық, жылу, смарт қасбет, терезе.

Введение

Экологические проблемы привели к стремительному развитию «зеленых» технологий, но несмотря на несколько десятилетий развития альтернативных источников энергии АИЭ [1,2], их рентабельность всё ещё в разы меньше рентабельности энергетических установок на ископаемом топливе. Трудно представить, что при достаточно низкой цене на энергию от традиционных источников независимый городской потребитель востребует дорогую энергию от альтернативных. С другой стороны, только при городской плотности потребителей возможно добиться хоть какого-то небольшого, но устойчивого спроса на устройства альтернативной энергетики. Поэтому самым привлекательным способом распределения АИЭ, в частности, солнечных панелей, среди независимых городских потребителей, является способ встраивания их в бытовые устройства, имеющие спрос на рынке из-за удовлетворения других нужд потребителя. Среди этих нужд может быть забота о здоровье, о комфортности жилья, о надёжности и безопасности функционирования бытовых устройств, об эстетике и тому подобные.

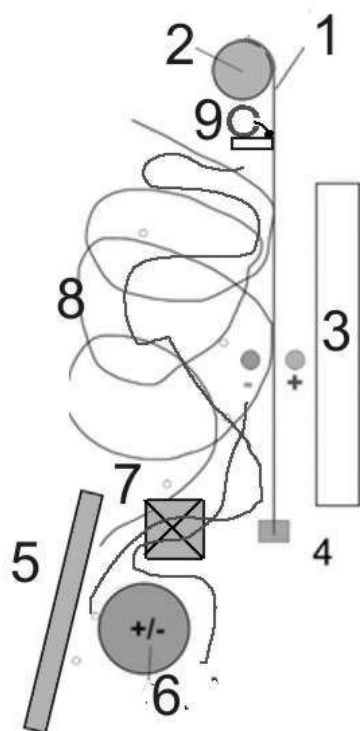
Большинство площадок строений города, в том числе вертикально ориентированных, облучаются солнечной энергией малую часть суток и могут быть использованы для выработки энергии на 10-30% от установочной мощности, раз-

мещённых на них панелей. По этой причине делать из крыши и фасада жилого дома солнечную электростанцию, для электроснабжения дома крайне нерентабельно. В предшествующие два десятилетия изучались и проектировались комбинированные PVT системы [3 -18] призванные поднять эффективность преобразования солнечной энергии за счёт улавливания ещё и тепловой энергии, и повышение эффективности преобразования фотоэлектрической, за счёт снижения температуры фотопреобразователей. Окупаемость миниэлектростанции на дому с такими панелями, по расчётам в [11] составит 35 лет, даже при больших Шведских ценах на энергию. Принципиальное отличие проводимыми авторами работы в социальном и экономическом плане заключается в том, что индивидуальному потребителю предлагается не энергия от электростанции, а бытовое устройство с солнечными батареями с комбинацией светодиодного осветителя и регулирующей солнечный свет внешней жалюзи., очистителя воздуха, звуко и теплоизолятора, кондиционера [20-24] Попутно оно поможет решить и глобальные общечеловеческие проблемы экологии, за счёт очистки воздушной среды от смога и пользоваться «зелёной» энергией. Одной из важнейших дополнительных функций бытового устройства с солнечными панелями является пылесосибание [22]. Такое устройство может управлять площадью оконного проёма жилых помещений размером 3-5 квадратных

метра и улавливать мелкодисперсную пыль. В крупных городах Казахстана и России запылённость воздуха – это злободневная проблема. Например, в России дополнительная смертность от загрязнения воздуха мелкодисперсной пылью с размерами менее 10 и 2.5 мкм (PM10 и PM2.5) оценивается в СМИ цифрой 40 тысяч человек ежегодно.

Результаты и обсуждения

Модель для расчёта устройства оконного пылесобирания представлена на рисунке 1. В качестве улавливающих пыль устройств может выступать шторка 1 с наружной диэлектрической поверхностью, пластина закрывающая солнечные панели или растительную пластину, а также сама растительная панель. Растительная панель дополнительно будет улавливать и парниковый углекислый газ. Опущенная с помощью рулонного механизма 2 шторка закрывает окно 3. Мимо неё солнечной панелью 5 и вентилятором 7 продувается турбулентный поток воздуха 8.



1 – пылесобирающая шторка; 2 – рулонный механизм;
3 – оконный проём; 4 – грузик шторки;
5 – солнечная панель; 6 – зарядный электрод-турболизатор;
7 – вентилятор; 8 – траектория движения пыли
в восходящем воздухе; 9 – смывающий пыль дворник

Рисунок 1 – Схема улавливания мелкодисперсной пыли

На заряжающем электроде 6 формируется высокое напряжение 100-1200 В отрицательного или положительного знака. Пролетающие мимо электрода с потоками восходящего воздуха пылинки притягиваются к электроду и в момент касания приобретают заряд. Знак заряда и его величина зависят от нескольких факторов. Если пылинка создана из диэлектрического материала с большим поверхностным сопротивлением, то частичка зарядится до очень малой доли от заряда определяемой её ёмкостью. Эта доля зависит от времени касания частицы к металлическому электроду. Эта доля зависит от материала частицы. Для стеклянного материала (песок) поверхностное сопротивление сферической частицы R_s во влажном воздухе составляет 10^{11} - 10^{12} Ом. Напряжение, до которого частица зарядится, определяется по формуле

$$U_t = U(1 - e^{-t/\tau}), \quad (1)$$

где τ – характеристическое время заряда частицы, которое рассчитывается как

$$\tau = C_p \cdot R_s, \quad (2)$$

где C_p – ёмкость сферической частицы. Для того, чтоб определить ёмкость частицы воспользуемся формулой (3)

$$C_p = 4 \pi \epsilon \epsilon_0 r_p, \quad (3)$$

где r_p – радиус сферической пылинки.

Для диэлектрической частицы (пылинки) радиусом $r_p = 1$ мкм ёмкость составит величину $C_p = 1.1 \cdot 10^{-16}$ Ф, а $\tau = 1.1 \cdot 10^{-4}$ с. При скорости восходящего потока $v_b = 0.1$ м/с пылинка удалится на расстояние равное r_p за время $t = 10^{-5}$ с. Напряжение до которого зарядится наночастица составит примерно $U_t = U(t/\tau)$.

Таким образом, заряд диэлектрической частицы можно посчитать по соотношению :

$$Q_p = C_p \cdot U_t = \frac{U \cdot r_p}{v_b \cdot R_s} \quad (4)$$

Для частицы с радиусом $r_p = 1$ мкм и скорости $v_b = 0.1$ м/с, заряд составит $Q_p = 2.5 \cdot 10^{-15}$ Кулон, а для скорости $v_b = 1$ м/с, $Q_p = 2.5 \cdot 10^{-16}$ Кл.

Для графитовой частицы (частицы гари) характеристическое время заряда на 6-7 порядков меньше и поэтому ёмкость частицы заряжается полным зарядом. Для частицы с радиусом $r_p = 1$ мкм независимо от скорости восходящего потока заряд составит величину $Q_p = 3.3 \cdot 10^{-14}$ Кл.

Рассчитаем силу притяжения и скорость перемещения пылинки к плёнке. Расчёт ведём методом изображения [19]. Сила притяжения между реальным зарядом и зарядом-изображением определяется по закону Кулона:

$$F = k \frac{Q_p \cdot |Q_p'|}{(2a)^2} = k \frac{Q_p^2}{4a^2} \cdot \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \quad (5)$$

где $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$ электрическая постоянная, диэлектрическая проницаемость плёнки $\varepsilon_1 = 2.3$, $\varepsilon_2 = 1$, a – расстояние от пылинки до плёнки. Скорость перемещения $\vartheta_{от}$ сферической частицы к плёнке зависит от вязкости воздуха и силе, приложенной к частице считывается с помощью формулы

$$\vartheta_{от} = \frac{F}{6\pi r_p \eta} \quad (6)$$

где $\eta = 18.2 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамическая вязкость воздуха.

Для графитовой пылинки диаметром 1 мкм, скорость перемещения частицы с расстояния 10 мм от плёнки составит всего $\vartheta_{от} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$. Для диэлектрических частиц на порядок меньше. Значит, при ламинарном течении воздуха около плёнки пыль практически не будет осаждаться на плёнку. С другой стороны, с расстояния 10 мкм до плёнки даже диэлектрическая частица устремится к плёнке со скоростью 0.15 м/с. Значит, сила прилипания пылинки достаточно большая и она удержится на плёнке.

Для того чтобы пыль подходила к плёнке на очень близкое расстояние и захватывалась ей, необходимо создать слой воздуха с турбулентным перемещением струй. Заряжающий электрод в виде цилиндра, помещённого на пути восходящего потока воздуха, и вентилятор 7 призваны создать такое перемещение струй воздуха. Пылинки со слоя толщиной примерно в 1.5 раза большей диаметра электрода-турбулизатора 6 по рисунку 1 будут периодически подлетать к плёнке. Заряженные частички пыли прилипнут к плёнке, а нейтральные проследуют за потоками воздуха. Таким образом, турбулизированный слой воздуха, толщиной равной зазору между панелью и стенкой в нижней части устройства будет очищаться от пыли. Необходимое условие – прилипшая за счёт электростатики пыль не должна сдуваться потоками воздуха, в том числе порывами ветра. Необходимо рассчитать зависимость скорости допустимых потоков воздуха, при которой прилипшие пылинки останутся на плёнке. Для этого сначала нужно определить

как спадает скорость потока воздуха у поверхности с учетом, что на границе поверхности за счёт сил атомного сцепления молекул воздуха и плёнки скорость молекул равна нулю. На некотором расстоянии h от границы она становится такой же, как и в свободном пространстве. Это расстояние называется пограничным слоем и скорость в нём меняется от нулевой до ϑ_0 – скорости свободного потока воздуха по линейному закону. Толщину этого пограничного слоя можно посчитать, рассматривая движение кубика воздуха с высотой h , расположенного на поверхности плёнки, как это показано на рисунке 2. Средняя скорость кубика воздуха $\vartheta_0/2$ остаётся равномерной, значит, сила напора воздуха F_v на левую грань уравнивается силой трения $F_{тр}$, приложенной к верхней грани.

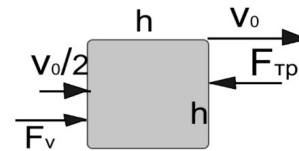


Рисунок 2 – Графическое изображение к расчёту толщины пограничного слоя воздуха

Сила напора считается по формуле

$$F_v = \frac{h^2 \cdot \rho \cdot (\frac{\vartheta_0}{2})^2}{2} = \frac{(h^2 \cdot \rho \cdot \vartheta_0^2)}{8} \quad (7)$$

Сила внутреннего трения воздуха считается по формуле

$$F_{тр} = h^2 \cdot \eta \cdot \vartheta_0 / h \quad (8)$$

Таким образом,

$$\frac{(h^2 \cdot \rho \cdot \vartheta_0^2)}{8} = h^2 \cdot \eta \cdot \vartheta_0 / h \quad (9)$$

Отсюда

$$h = 8 \cdot \eta / \vartheta_0 \cdot \rho \quad (10)$$

Так, при скорости ветра 10 м/с, толщина пограничного слоя h составит величину $1.2 \cdot 10^{-5} \text{ м}$. Следовательно, если плёнка с прилипшей частицей радиусом r_p обдувается ветром ϑ_0 , то скорость воздуха, набегающего на частицу, будет равна:

$$\vartheta_p = \frac{\vartheta_0 \cdot r_p}{h} = \frac{r_p \cdot \vartheta_0^2 \cdot \rho}{8 \cdot \eta} \quad (11)$$

При скорости сдувающего ветра 10 м/с на частицу с $r_p = 1$ мкм будет воздействовать воздушный поток скоростью 0,83 м/с.

Чтобы пылинка не оторвалась от плёнки, необходимо, чтобы сила электростатического сцепления пылинки с плёнкой, рассчитанная по соотношению (9), была больше силы воздушного напора, рассчитанной по соотношению (10). Поскольку с течением времени плёнка заряжается, электростатическая сила убывает пропорционально разности потенциалов заряжающего электрода и поверхности плёнки. Заряд от пылинок частично растекается по телу плёнки и проникает на противоположную от пылинки сторону. Таким образом, пылинка, заряженная электродом 6 (рисунок 1), будет иметь заряд, соответствующий разности потенциалов между плёнкой и заряжающим электродом.

На рисунке 3 показана зависимость скорости ветра, отрывающего диэлектрическую пылинку и металлическую пылинку, от размера пылинки. Графики построены для случая, когда упомянутая разность потенциалов достигла 100 В.

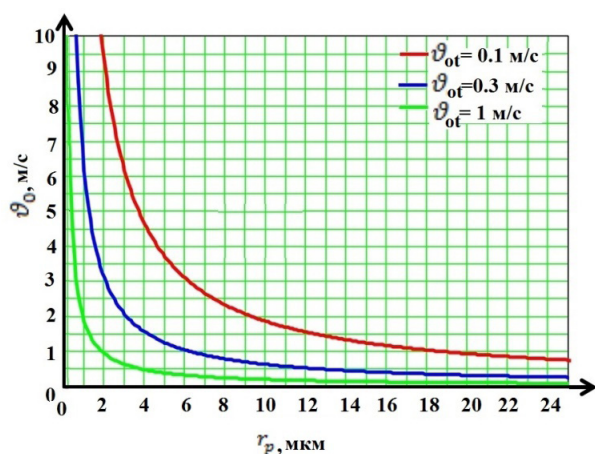


Рисунок 3 – Зависимость скорости ветра v_0 отрывающей пылинку от размера пылинки при напряжении $U=100$ В на электроде при различных скоростях перемещения пылинки к пленке v_{ot}

Согласно рисунку 3, для металлической пылинки с полным зарядом своей ёмкости, даже огромные по меркам пылесобирания частицы диаметром 20 мкм не будут сдуваться порывами ветра до 5 м/с. А вот не полностью заряженные

диэлектрические пылинки, даже небольшого размера, будут сдуваться тем восходящим потоком, который их доставил к поверхности. Например, если скорость восходящего потока, доставившего пылинку к плёнке, будет 1 м/с, то пылинки радиусом больше 2 мкм не будут прилипать к плёнке. Для того, чтобы прилипание диэлектрических и металлических пылинок всё же состоялось, необходимо увеличить разницу потенциалов. На рисунке 4 показан вариант зависимости скоростей ветра от размера пылинок при разнице потенциалов на электроде $U=1000$ В.

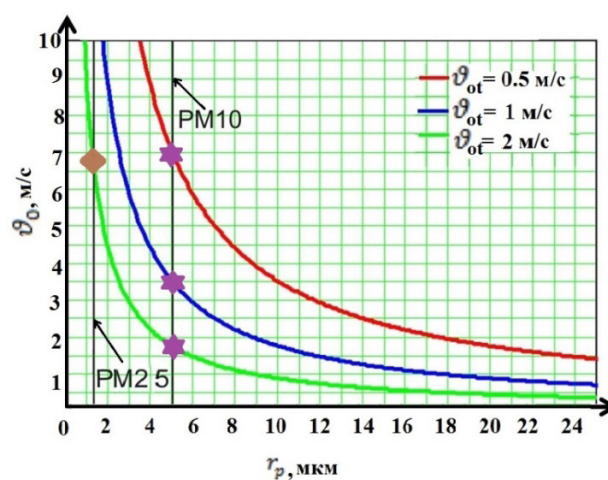


Рисунок 4 – Зависимость скорости ветра v_0 отрывающей пылинку от размера пылинки при напряжении $U = 1000$ В на электроде при различных скоростях перемещения пылинки к пленке v_{ot}

На рисунке 5 показаны семейства кривых для двух разниц потенциалов: 50 и 250 В. При напряжении 250 Вольт и скорости восходящего потока 1 м/с будут прилипать частицы до 5 мкм, а при 50 В – только до 1 мкм. Связано это с тем, что заряд на диэлектрическую частицу поступает по огромному поверхностному сопротивлению её поверхности и не успевает полностью её зарядить.

В реальной ситуации несферических диэлектрических частиц для отрыва частиц требуется меньшая скорость ветра. Для того, чтобы увеличить эту скорость, необходимо увеличить напряжение.

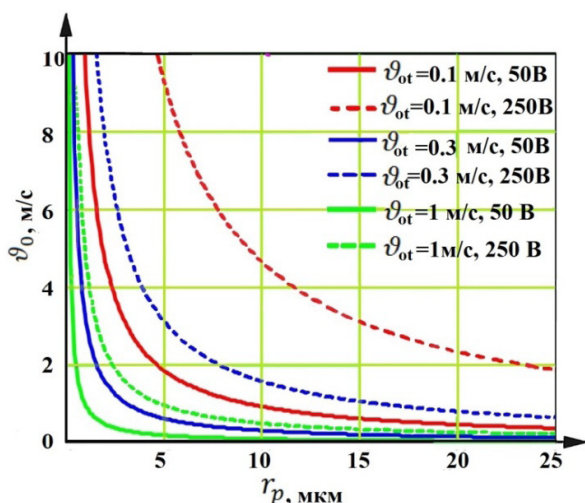


Рисунок 5 – Семейство зависимостей скорости ветра отрывающего пылинки, от размера пылинок при разных потенциалах плёнки при различной скорости перемещения пылинки к плёнке $v_{от}$

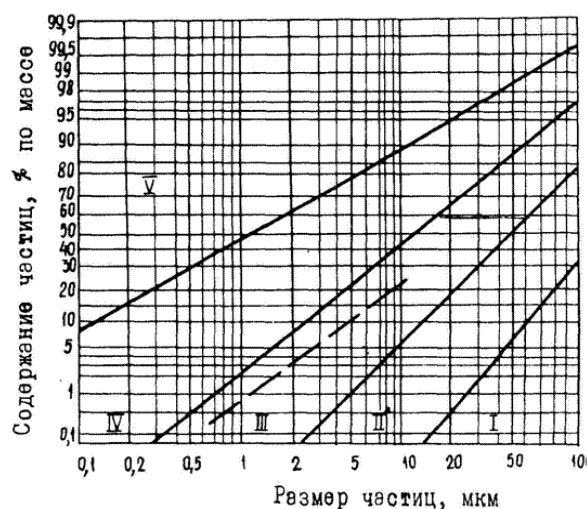
Рассчитаем продолжительность цикла сбора пыли. Очевидно, с момента появления потенциала на электроде на плёнку натекает электрический заряд, который будет обеспечиваться движением заряженных пылинок. Этот ток будет пропорционален объёму воздуха, прошедшего в единицу времени мимо плёнки и количеству электричества в нём. Объём воздуха с зарядами, прошедший мимо плёнки в единицу времени, определяется выражением

$$V = v_0 \cdot D_t \cdot A \cdot k, \quad (12)$$

где v_0 – скорость восходящего потока (~ 1), D_t – диаметр турбулелазаторов, A – длина щели турбулелазаторов (для окна $D \sim 0.1$ м, $A \sim 1,5$), k – эффективность сбора частичек пыли плёнкой (принимаем 0.5).

Тогда эффективный объём в секунду $V = 0.075 \text{ м}^3/\text{с}$. По нормативам запылённости, приведённым в [25], можно определить максимальное количество пыли в атмосфере города в различных ситуациях. Например, в городе при интенсивном движении автотранспорта запылённость ($K_{он}$ – коэффициент запылённости) может составить $5 \text{ мг}/\text{м}^3$, при смоге $K_{он} = 10 \text{ мг}/\text{м}^3$. Значит в течение суток можно эффективно очистить объём $V_{сут} = 6480 \text{ м}^3$, а при смоге осадить в сутки 64 грамма пыли.

Если мы примем во внимание данные из [26], приведённой на рисунке 6, в городской атмосфере, то средний радиус пылинок составляет 5 мкм.



- I – очень крупнодисперсная пыль (уголь);
- II – крупнодисперсная пыль (например, мелкий песок для строительных работ);
- III – средне дисперсная пыль (например, цемент);
- IV – мелкодисперсная пыль (например, взвешенная атмосферная пыль);
- V – очень мелкодисперсная пыль (например, автомобильные выхлопы, дым)

Рисунок 6 – Номограмма распределения пыли по размерам [26]

Согласно номограмме [26], приведённой на рисунке 6, в городской атмосфере средний радиус пылинок 5 мкм. Учитывая пористость структуры пылинок, показанной на рисунке 5, их плотность не превышает $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$. Тогда средняя масса частицы, которая определяется как

$$m_p = \frac{4 \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \rho}{3}. \quad (13)$$

И в этом случае масса $m_p = 5.236 \cdot 10^{-13} \text{ кг}$, а средняя электроёмкость частицы:

$$C_p = 4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r_p \quad (14)$$

становится равной $C_p = 5.561 \cdot 10^{-16} \text{ Ф}$.

Если предположить (в худшем варианте), что половина частиц электризованы и состоят из углерода, а плёнка максимально будет заряжаться до $U_0 = U_э/2$, ($U_э$ – напряжение электрода 6 по рисунку 2, $U_э = 1200 \text{ В}$) т.е. разница потенциалов между плёнкой и заряжающим электродом упадёт с 1200 до 600В и в среднем составит $U_{cp} = 600 \text{ В}$. В этом случае средняя разница потенциалов между заряженными и нейтральными частицами составит по модулю $U_{cp} = 600 \text{ В}$ то заряд средней частицы определяется выражением:

$$Q_p - C_p - U_{cp}. \quad (15)$$

а средний ток, поступающий на плёнку при смоге, можно найти из соотношения:

$$I_{cp} = V \cdot K_{OH} \cdot Q_p / m_p, \quad (16)$$

И, подставив значения в (16), мы получим, что $I_{cp} = 4.77 \cdot 10^{-7} \text{ А}$. С учетом затраты такого тока суточные затраты энергии аккумулятора E составят не меньше 50 Дж

$$E = U_p \cdot I_{cp} \cdot 24 \cdot 3600_c \quad (17)$$

или 12 мВт·часов, что гораздо меньше электронной схемы, генерирующей высокое напряжение. Таким образом, напряжения $U_p - 600 \text{ В}$ на аккумуляторе и затрат энергии в 50 Дж будет вполне достаточно, чтоб зарядить частицы пыли и не допустить их сдувания воздухом.

Заключение

Проведено моделирование и обоснован принцип собирания мелкодисперсной пыли вертикальной диэлектрической плёнкой, используемой в бытовом устройстве с солнечными панелями. Проведён расчёт скорости оседания пыли, устойчивости её к сдуванию, длительности активной фазы собирания пыли. Оборудование фасадов зданий устройствами с солнечными батареями, поглощающими уличную пыль защитной плёнкой, будет способствовать улучшению экологической обстановки в городе.

Благодарности. Работа была выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан грантом АР05131673.

Литература

- 1 Байерс Т. 20 конструкций с солнечными элементами. – М.: Мир, 1988. –197 с.
- 2 Твайделл Д. Возобновляемые источники энергии. – М.: Мир, 1990. – 393 с.
- 3 Ning Zh. et al. Development of a Small Solar Power Generation Systembased on Thermoelectric Generator // Energy Procedia. -2014.-Vol. 52. – P. 651–658.
- 4 Ioannou A.K., Stefanakis N.E., and Boudouvis A.G. Design optimization of residential grid-connected photovoltaics on rooftops // Energy Build.- 2014. -Vol. 76. – P.588–596.
- 5 Liu D. and Shiroyama H., Development of photovoltaic power generation in China: A transition perspective // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2013. – Vol. 25. – P. 782–792.
- 6 Мейгин М. Фотовольтаика: материалы, технологии, перспективы // Электроника, наука, технология, бизнес. – 2000. – Vol. 6. – С. 40-46.
- 7 Yudelson J. and Meyer U. The world greenest buildings. – Routledge, Abilgdon, 2013. – 257 p.
- 8 Basnet A. Architectural Integration of Photovoltaic and Solar Thermal Collector Systems into buildings. – Reports, Trondheim, 2012. – 112 p.
- 9 Martins D.C. Analysis of a Three-Phase Grid-Connected PV Power System Using a Modified Dual-Stage Inverter // Renewable Energy. – 2013. -Vol. 2013. – P.406312-406330.
- 10 Pearce J., Debnath S., and Vora A. Combined photovoltaic solar thermal systems (PVT) – literature review. – MY 5970/EE 5900-Solar Hacking: Photovoltaic Materials, Cells and Systems Engineering, Houghton, 2012. – 40 p.
- 11 Moheimani N.R. and Parlevliet D. Sustainable solar energy conversion tochemical and electrical energy // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2013, -Vol 27. – P 494-504.
- 12 Hasan O. and Arif A. Performance and life prediction model for photovoltaic modules: Effect of encapsulant constitutive behavior // Sol. Energy Mater. Sol. Cells. – 2014. – Vol 122. – P. 75–87.
- 13 Roos F. Proc of China's International Conference for the Solar Industry. – Beijing, December 11-13, 2012. – P. 68-84.
- 14 Boonstra C. Proc of China's International Conference for the Solar Industry. – Beijing, December 11-13, 2012. – P. 92-112.
- 15 Huy A., Ahn S., Han S., et al. Effective optimization of indium tin oxide films by a statistical approach for shallow emitter based crystalline siliconsolar cell applications // Sol. Energy Mater. Sol. Cells.- 2014. -Vol 125. – P. 176–183.
- 16 Andrews, and J.M. Pearce, Effects of spectral albedo on solar photovoltaic devices // Sol. Energy Mater. Sol. Cells. – 2014. –Vol. 124. – P. 111–116.
- 17 Eltawil och Z. M.A. Zhao Grid-connected photovoltaic power systems:Technical and potential problems—A review // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2010. – Vol.14, №1. – P. 112–129.
- 18 Skoplaki E., Boudouvis A.G., and Palyvos J.A., A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting // Sol. Energy Mater. Sol. Cells. – 2008. –Vol. 92, №11. – P.1393–1402.
- 19 Фейнман Р., Лейтон Р., и Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Том 5: Электричество и магнетизм. – М.: Эдиториал УРСС, 1960. – С.291.

- 20 Mikhaylov L., Mikhaylova S., Ismailova G., et al. // Proc of 15-th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & EXPO – SGEM. – Bulgaria, 17-24 June, 2015. – P.68-74.
- 21 Mikhailov L., Mikhailova S., Ismailova G. et al. Development of energy devices based on photovoltaic panels with extra consumer properties // Mediterranean Green Buildings & Renewable Energy. – 2017. – P. 609–617.
- 22 Михайлов Л.В., Мамишев Д.Р., Куатова М.Ж. и др. // Сборник научных статей VI Международной научно-практической конференции. – Барнаул, 11-12 марта 2016 г. – С. 226-229.
- 23 Михайлов Л.В., Мамишев Д.Р., Султангазина М.Н. и др. // Сб. научных статей VII Междун. научно-практ. конф. «Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов». – Барнаул, 10-11 марта 2017 г. – С. 237-243.
- 24 Михайлов Л.В., Сидляров А.М., Габдулова Н.С. и др. Мехатронная система смарт окна с использованием солнечных панелей // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. – 2018. -Том 8, №1. – С. 172-176.
- 25 Долина П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергия, 1990. – 824 с.
- 26 Чекман И.С., Сыровая А.О., Андреева С.В., Макаров В.А. Аэрозоли – дисперсные системы: Монография. – Киев – Харьков: Цифрова друкарня. – 2013. – №1. – 100 с.

References

- 1 T. Bayyers, 20 konstruksiyi s solnechnymi elementami, (Mir, Moskva, 1988), 197 p. (in Russ.).
- 2 D. Tsvaydell, Vozobnovlyayemyye istochniki energii, (Mir, Moskva, 1990), 393 s. (in Russ.).
- 3 Zh. Ning et al., Energy Procedia, 52, 651 – 658 (2014).
- 4 A.K. Ioannou, N.E. Stefanakis, and A.G. Boudouvis, Energy Build, 76, 588–596 (2014).
- 5 D. Liu and H. Shiroyama, Renew. Sustain. Energy Rev., 25, 782–792 (2013).
- 6 M. Meytin Fotovolt'ika: materialy, tekhnologii, perspektivy, 6, 40-46 (2000). (in Russ.).
- 7 J. Yudelson and U. Meyer, The world greenest buildings, (Routledge, Abildon, 2013), 257 p.
- 8 A. Basnet, Architectural Integration of Photovoltaic and Solar Thermal Collector Systems into buildings, (Reports, Trondheim, 2012), 112 p.
- 9 D.C. Martins, Renewable Energy, 2013, 406312-406330 (2013).
- 10 J. Pearce, S. Debnath, and A. Vora, Combined photovoltaic solar thermal systems (PVT) – literature review (MY 5970/EE 5900-Solar Hacking: Photovoltaic Materials, Cells and Systems Engineering, Houghton, 2012), 40 p.
- 11 N.R. Moheimani and D. Parlevliet, Renew. Sustain. Energy Rev., 27, 494-504 (2013).
- 12 O. Hasan and A. Arif, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 122, 75–87 (2014).
- 13 F. Roos, Proc. of China's International Conference for the Solar Industry (Beijing, December 11-13, 2012), p. 68-84.
- 14 C. Boonstra, Proc of China's International Conference for the Solar Industry (Beijing, December 11-13, 2012), p. 92-112.
- 15 A. Huy, S. Ahn, S. Han, et al., Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 125, 176–183 (2014).
- 16 Andrews, and J.M. Pearce, Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 124, 111–116 (2014).
- 17 M.A. Eltawil och Z. Zhao, Renew. Sustain. Energy Rev. 14 (1), 112–129 (2010).
- 18 E. Skoplaki, A.G. Boudouvis, and J.A. Palyvos, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 92 (11), 1393–1402 (2008).
- 19 R. Feynman, R. Leyton, and M.Sends, Feynmanovskiye lektsii po fizike. Tom 5: Elektrichestvo i magnetizm. (Moskva, Editorial URSS, 1960), p. 291. (in Russ.).
- 20 L.V. Mikhaylov, S. Mikhaylova, and G.Ismailova, et al., Proc of 15-th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & EXPO – SGEM (Bulgaria, 17-24 June, 2015), p. 68-74.
- 21 L.V. Mikhailov, S. Mikhailova, G. Ismailova et al., Mediterranean Green Buildings & Renewable Energy, 609 – 617 (2017).
- 22 L.V. Mikhaylov, D.R. Mamishev, M.Zh. Kvatova, et all. Sbornik nauchnykh statey VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Barnaul, 11-12 March 2016), p. 226-229. (in Russ.).
- 23 L.V. Mikhaylov, D.R. Mamishev, M.N. Sultangazina, et al., Cb. nauchnykh statey VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Mnogoyadernnyye protsessory, parallel'noye programmirovaniye, PLIS, sistemy obrabotki signalov (Barnaul, 10-11 March 2017), p. 237-243. (in Russ.).
- 24 L.V. Mikhaylov, A.M. Sidlyarov, N.S. Gabdulova, et al., Vysokoproizvoditel'nyye vychislitel'nyye sistemy i tekhnologii, 8 (1), 172-176 (2018). (in Russ.).
- 25 P.A. Dolina, Spravochnik po tekhnike bezopasnosti, (Energiya, Moskva, 1990), 824 p. (in Russ.).
- 26 I.S. Chekman, A.O. Syrovaya, S.V. Andreyeva, and V.A. Makarov, Aerozoli – dispersnyye sistemy: Monografiya, (Tsifrova drukarnya, Khar'kov, 2013, No 1), 100 p. (in Russ.).