

## РАЗРАБОТКА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА БАЗЕ ВОСХОДЯЩИХ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ ШАХТЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

О.В. Кабанов, С.А. Панфилов, А.И. Мелешкин

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск, Россия

Проведены исследования скорости воздушного потока в выходном канале шахты естественной вентиляции МКД при различных температурах окружающего воздуха, а также представлены математические выражения для определения мощности, вырабатываемой ветрогенератором.

Предложен альтернативный источник энергии, использующий ресурсы многоквартирного дома для получения электроэнергии. Разработанный источник автономного электрооснабжения на основе восходящих тепловых потоков возможно использовать для освещения лестнично-лифтовых узлов, подвальных и чердачных помещений. Проведённые исследования и измерения показали целесообразность и актуальность проделанной работы и перспективы дальнейших исследований в этом направлении.

*Ключевые слова:* источник, электроэнергия, автономный источник, вентиляция, воздушные потоки, альтернативная энергетика, возобновляемые источники энергии.

### Введение

В технической литературе описывается множество альтернативных источников энергии [1–5]. В [4] представлено описание автономного уличного светильника, конструкция которого представлена на рис. 1, состоящего из светодиодной панели, электрогенератора, датчика освещённости и столба, внутри которого расположены электрогенератор и аккумуляторная батарея. Для преобразования энергии перемещающихся воздушных масс в электрическую используется активный дефлектор,

аэровакуумная турбина, установленная на валу генератора.

Известна система автономного освещения подъездов, состоящая из солнечной фотопреобразовательной панели, осветительных приборов, датчика света (датчик освещённости), датчика присутствия, контроллера, аккумуляторной батареи, устройства ввода резерва и выпрямитель тока (диодный мост), подключенный к традиционной сети [5]. На рис. 2 представлена модульная схема системы автономного освещения подъездов.

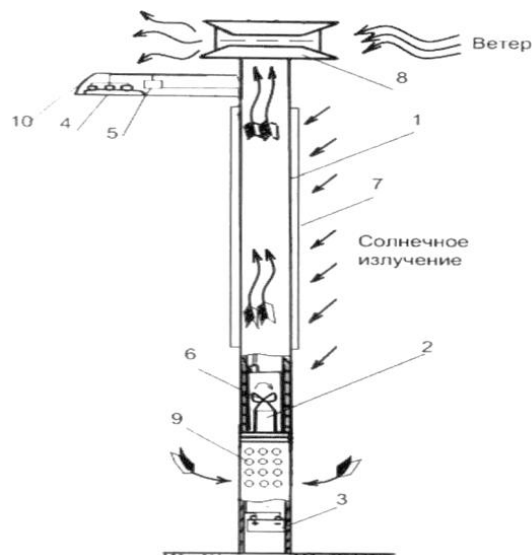


Рис. 1. Автономный уличный светильник: 1 – столб, 2 – электрогенератор, 3 – аккумулятор, 4 – светодиодная панель, 5 – датчик освещённости и блок управления освещением, 6 – аэровакуумная турбина, 7 – наружная стенка столба, 8 – дефлектор, 9 – отверстие для прохода воздуха, 10 – антивандалная консоль

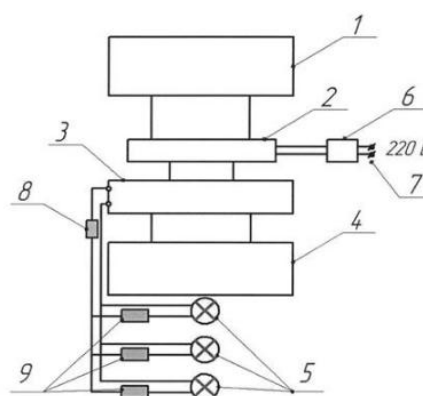


Рис. 2. Система автономного освещения подъездов: 1 – солнечная фотопреобразовательная панель, 2 – устройство ввода резерва, 3 – контроллер, 4 – аккумуляторная батарея, 5 – осветительные приборы, 6 – выпрямитель, 7 – подключение к сети питания 220 В, 8 – датчик света, 9 – датчик присутствия

В работе [6] описывается модульная ветро-энергетическая установка с колебательным рабочим движением, с линейным электрическим генератором, в которой колеблющаяся под действием ветра внутренняя рамка связана с якорем линейного генератора таким образом, что при номинальной скорости ветра рамка совершает колебательные движения и линейный электрогенератор вырабатывает электрическую энергию для заряда аккумуляторных батарей.

В работах [7–9] приведено описание автономных устройств, состоящих из солнечных панелей, аккумуляторной батареи, датчика движения, датчика освещенности, устройства управления и светильника.

Согласно работам авторов [10] были проведены исследования по установлению времени работы осветительных приборов, располагаемых в подъезде многоэтажного многоквартирного дома, и было установлено, что осветительные приборы в подъезде работают каждый в среднем по 40 минут в день.

Из данных исследований можно сделать выводы, что источники света, располагаемые на нежилых площадях многоэтажных многоквартирных домов, отличаются небольшим энергопотреблением ввиду того, что используются по мере необходимости. Новой тенденцией в реализации энергосбережения в системах освещения является поиск нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НИВЭ) [11].

### Основная часть

В ходе проведенного исследования выявлено, что одним из возможных источников для получения электроэнергии в непромышленных масштабах является энергия перемещения воздушных потоков.

В настоящее время на развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) обращают внимание многие специалисты по энергосбережению, в связи с этим в последние годы, согласно наблюдениям [12–15], происходит увеличение использования альтернативных источников энергии на базе

ВИЭ для систем электроснабжения загородных домов, торговых павильонов и т. д. Целесообразным представляется использование таких источников энергии при потреблении мощности от 50 Вт до 30 кВт в сутки. В процессе поиска было сделано предположение о том, что в качестве возобновляемого источника энергии можно использовать восходящие тепловые потоки воздуха в шахтах естественной вентиляции. Для реализации данного способа получения энергии предлагается использовать шахты естественной вентиляции зданий, в частности тепловые воздушные потоки в шахте, возникающие в результате перепада температур воздуха в здании и вне его. Для определения скорости теплового воздушного потока в шахте естественной вентиляции многоквартирного дома (МКД) были проведены экспериментальные исследования. Эксперименты проводились в 20-этажном МКД с тёплым чердаком. На рис. 3 представлен общий вытяжной канал шахты естественной вентиляции с каналами-спутниками.

Оценка скорости воздушного потока проводилась на нескольких этажах, в разных точках шахты естественной вентиляции; результаты измерения приведены на рис. 4–6. На рис. 4 приведены результаты измерения скорости воздушного потока в канале-спутнике шахты естественной вентиляции на 12-м этаже МКД. Температура внутри объекта исследования составляла 29 °С, внешняя температура – минус 9 °С.

На рис. 5 приведены результаты измерения скорости воздушного потока в канале-спутнике шахты естественной вентиляции, которое производилось на 15-м этаже МКД. Температура внутри объекта исследования составляла 27 °С, окружающая температура – минус 9 °С.

На рис. 6 приведены результаты измерения скорости воздушного потока в канале-спутнике шахты естественной вентиляции, которое производилось на 19-м этаже МКД. Температура внутри объекта исследования составляла 26 °С, окружающая температура – минус 9 °С.

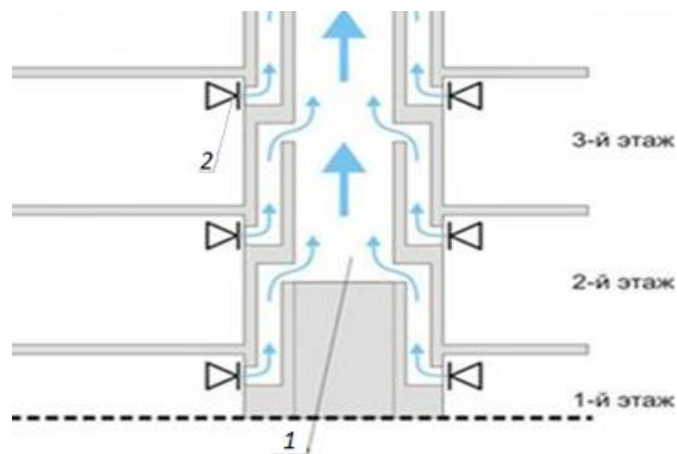


Рис. 3. Общий вытяжной канал шахты естественной вентиляции:  
1 – общий вытяжной канал; 2 – каналы-спутники

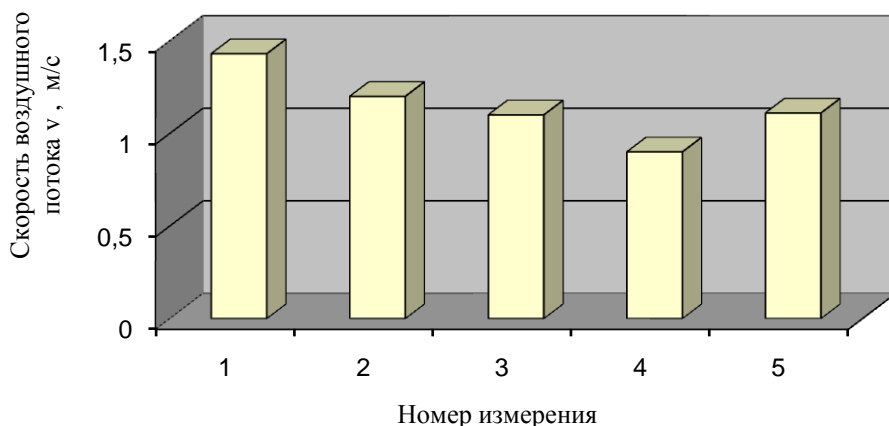


Рис. 4. Скорость воздушного потока в канале-спутнике шахты естественной вентиляции на 12-м этаже МКД

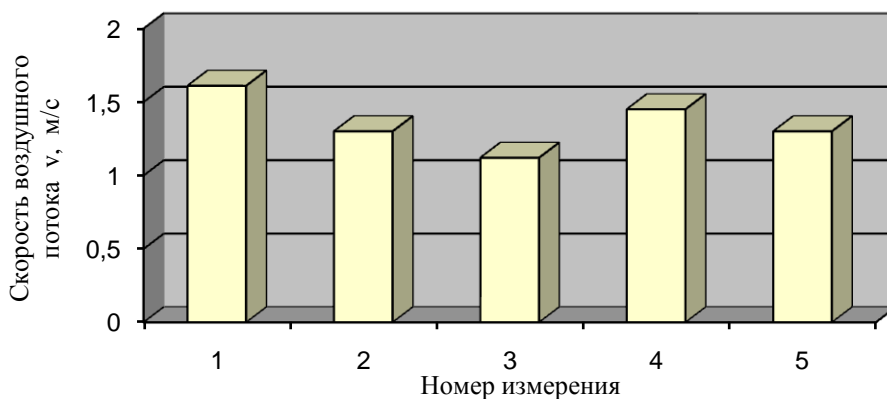


Рис. 5. Скорость воздушного потока в канале-спутнике

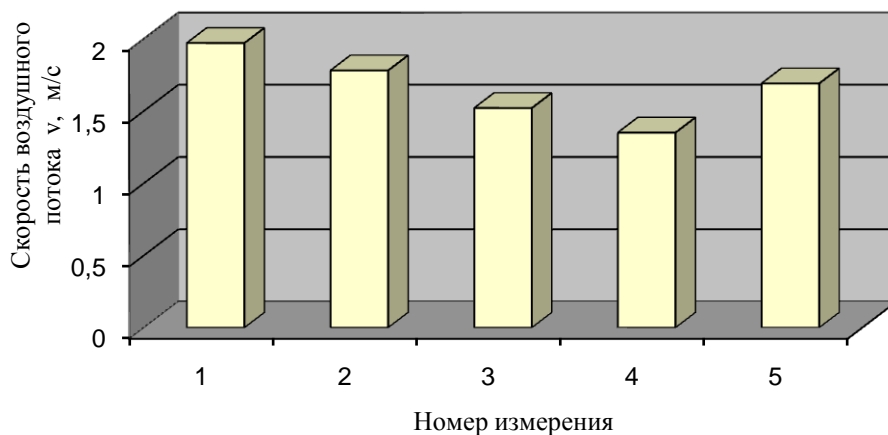


Рис. 6. Скорость воздушного потока в канале-спутнике шахты естественной вентиляции на 19-м этаже МКД

Также проводилось измерение скорости воздушного потока в выходном канале шахты естественной вентиляции, расположенном на крыше МКД. Температура воздушного потока на выходе шахты составляла 22 °С, окружающая температура воздуха – минус 9 °С. Результаты измерения представлены на рис. 7.

Как показало исследование, в шахте естественной вентиляции в различных частях вентиля-

ционного канала скорость воздушного потока изменяется в диапазоне от 1 м/с до 2 м/с. В табл. 1 представлены данные рекомендуемых скоростей движения теплового воздушного потока в шахтах естественной вентиляции [16].

В свою очередь, (по аналогии) были проведены исследования скорости воздушного потока в выходном канале шахты естественной вентиляции при других температурах окружающего

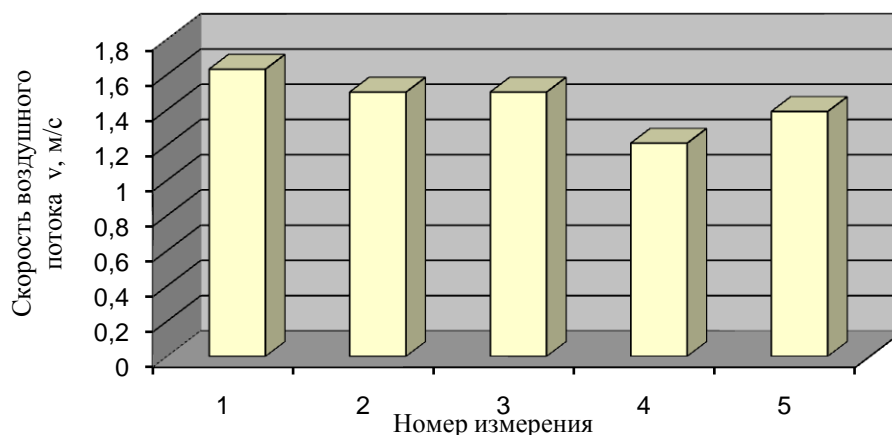


Рис. 7. Скорость воздушного потока в выходном канале шахты естественной вентиляции

Таблица 1

Рекомендуемые скорости движения воздуха

| № п/п | Тип и место расположения воздуховода | Скорость движения воздуха, V, м/с |
|-------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1     | Вытяжные вентиляционные решетки      | 0,5–1                             |
| 2     | Вертикальные вытяжные каналы         | 0,5–1                             |
| 3     | Вытяжные каналы-спутники             | 1–1,5                             |
| 4     | Сборные каналы                       | 1–2                               |
| 5     | Вытяжные шахты                       | 1–2                               |

воздуха. Результаты исследований представлены на рис. 8.

Маркерами (крестики, квадратики и др.) отмечены результаты измерений, сплошной линией – рекомендуемая скорость в вытяжной шахте естественной вентиляции.

Согласно данным исследований [17] отмечается, что скорость воздушного потока в шахте естественной вентиляции прямо пропорциональна количеству приточного инфильтрующего воздуха. Определить суммарный расход инфильтрующего воздуха  $G_i$  можно по формуле [12]:

$$\sum G_i = \sum \frac{\Delta p_1^{2/3} A_1}{R_1} + \sum \frac{\Delta p_2^{1/2} A_2}{R_2} + \sum \frac{\Delta p_3 l_3}{R_3}, \quad (1)$$

где обозначения с индексом 1 относятся к окнам, балконным дверям и фонарям; с индексом 2 – к дверям, воротам и открытым проёмам; с индексом 3 – к стыкам стеновых панелей;  $A$  – площадь ограждения,  $m^2$ ;  $l_3$  – длина стыков панелей, м;  $R_i$  – сопротивление воздухопроницанию соответствующего ограждения,  $m^2 \cdot Pa^n / kg$  для  $R_1$  и  $R_2$  или

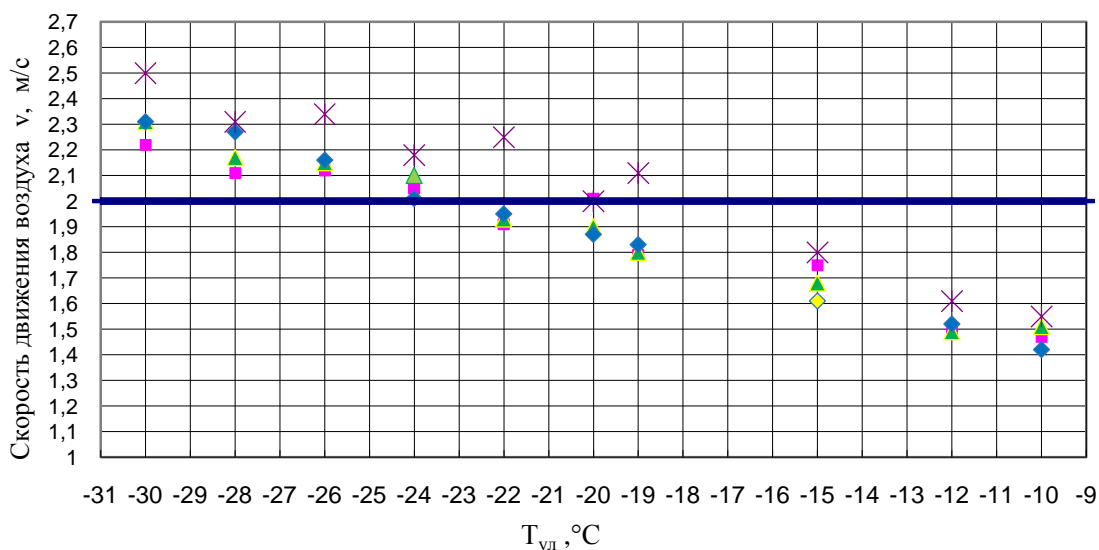


Рис. 8. Скорости восходящих тепловых потоков в выходной части шахты естественной вентиляции

мчПа/кг для  $R_3$ ;  $\Delta p$  – перепад давления на поверхности соответствующих ограждений, Па. Показатель степени  $n$ , равный 1,  $\frac{1}{2}$  или  $\frac{2}{3}$ , соответствует различным аэродинамическим режимам фильтрации воздуха, а именно ламинарному, турбулентному и смешанному. Разность давления  $\Delta p$ , входящая в формулу, является функцией плотности наружного воздуха, которая в свою очередь зависит от его температуры.

Учёт гравитационной и ветровой составляющей определяется согласно [12] по формуле:

$$\Delta p = 0,55 \cdot (H - h) \cdot (p_n - p_v) + 0,03 \cdot p_v \cdot v^2, \quad (2)$$

где  $H$  – высота здания от пола первого этажа до устья шахты, м;  $h$  – расчётная высота шахты, м;  $p_n - p_v$  – плотность наружного и внутреннего воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  – скорость ветра, м/с.

Плотность воздуха можно вычислить из зависимости [12]:

$$p(t_i) = \frac{353}{273 + t_i}, \quad (3)$$

где  $t_i$  – температура воздуха внутри или снаружи помещения.

Выражение, по которому суммарный расход инфильтрующего воздуха можно перевести в объём удаляемого инфильтрующего воздуха  $L$ , имеет вид

$$\sum L = \frac{G_i}{\Delta p}. \quad (4)$$

Зная поперечное сечение шахты  $F_{ш}$  естественной вентиляции и суммарный расход инфильтрующего воздуха, можем определить скорость воздушного теплового потока согласно [16, 18]:

$$v = \frac{\sum L}{3600 \cdot F_{ш}}. \quad (5)$$

Приведенные формулы позволяют рассчитать скорость теплового воздушного потока в шахте

естественной вентиляции. Данные выводы подтверждены также натурными экспериментами. На рис. 9 приведены экспериментальные данные скорости воздушного потока в шахте естественной вентиляции в зависимости от разности температур внутреннего и наружного воздуха, а также расчётная кривая, описывающая суммарный расход инфильтрующего воздуха по формуле (1), температура внутри объекта составляла 24 °С.

Маркерами (крестики, квадратики и др.) отмечены результаты опытных исследований скорости воздушного потока, а сплошной линией – результаты расчётов.

Согласно данным, полученным в ходе натуральных экспериментов [16, 17], можно сделать следующие выводы: скорость воздушного теплового потока в шахте естественной вентиляции зависит от разности температур внутреннего и наружного воздуха. В периоды времени года, когда наружная температура минимальна, в шахте естественной вентиляции отмечается самая большая скорость воздушного потока, и наоборот.

Также можно отметить, что, согласно данным [16, 17] и результатам проведённых исследований, в многоэтажных зданиях значения скорости воздушного потока на выпуске из выходного канала шахты естественной вентиляции может достигать 2,5 м/с при низких температурах уличного воздуха.

Исходя из проведённых аналитических и экспериментальных исследований скорости теплового воздушного потока в шахте естественной вентиляции, представляется возможным использовать восходящие тепловые воздушные потоки для получения энергии.

Для преобразования кинетической энергии восходящих тепловых потоков шахты естественной вентиляции в электрическую используют ветрогенераторы различной конструкции и мощности. Исходя из того, что скорость в вытяжной шахте естественной вентиляции имеет значения в диапа-

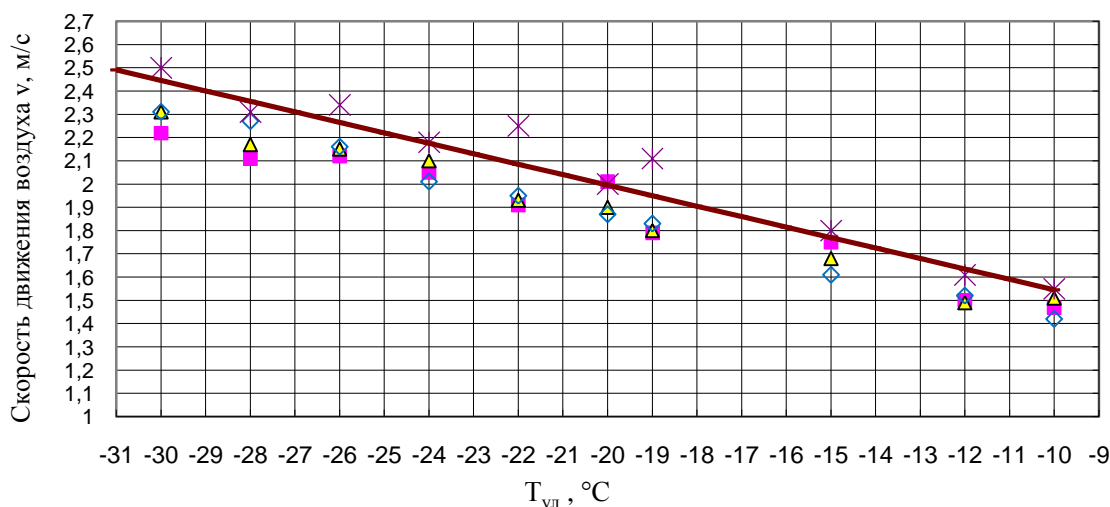


Рис. 9. Зависимость скорости воздушного потока в шахте естественной вентиляции от разности температур внутри объекта и наружного воздуха

зоне от 1 м/с до 2,5 м/с, целесообразно использовать тихоходные генераторы. Они способны при небольших оборотах генерировать энергию для передачи, накопления и дальнейшего использования.

Мощность идеального ветрогенератора согласно [19] вычисляется по формуле [Вт]:

$$P_B = 0,5 \cdot \rho \cdot S_0 \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta_g \cdot \eta_b, \quad (6)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $S_0$  – площадь ометания ветроколеса, м<sup>2</sup>;  $v$  – скорость ветра, м/с;  $C_p$  – безразмерный коэффициент использования энергии ветра (зависит от конструкции ветроколеса);  $\eta_g \cdot \eta_b$  – коэффициенты полезного действия электрогенератора и мультипликатора соответственно.

Так как конструкция шахт естественной вентиляции имеет небольшие размеры, для направления воздушного потока и получения более высокого КПД использования энергии воздушного потока были применены направляющие элементы.

Для компенсации потерь, появляющихся в результате внедрения, на выходную часть шахты естественной вентиляции направляющего элемента устанавливаются дефлектор, который увеличивает тягу в шахте путём разрежения во время обтекания его потоком ветра. Увеличение тяги, создаваемое пассивным или активным дефлектором, зависит от скорости ветра и определяется по нормативным документам на данный тип устройства.

Согласно [18], мощность на участке шахты естественной вентиляции под действием перемещения воздушного потока, омывающего дефлектор, в зависимости от разности плотностей воздуха в начале участка и в конце описывается выражением [Вт]:

$$P_{ГЕН} = C_p \rho_n \frac{\pi d^2}{8} \sqrt{\frac{1,8 \omega_b^2 + 16 H (p_n - p_b)}{1,2 + \sum \xi + 0,02k}}, \quad (7)$$

где  $C_p$  – степень использования энергии воздушного потока;  $\omega_b$  – скорость ветра, м/с;  $H$  – высота участка шахты естественной вентиляции, м;  $\rho_n, \rho_b$  – плотность воздуха в нижней и верхней частях шахты соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $\sum \xi$  – сумма коэффициентов местного сопротивления;  $k$  – отношение длины участка к его диаметру;  $d$  – диаметр аэробарического участка, м.

Исходя из вышеизложенного, целесообразно для создания равномерного воздушного потока использовать направляющий элемент, так как его применение позволяет увеличить коэффициент степени использования энергии воздушного потока с 0,6 до 0,8. Для расчёта предполагаемой мощности, которую можно получить, используя восходящие тепловые потоки шахты естественной вентиляции, был взят участок шахты естественной вентиляции, равный 9 м.

Коэффициент местного сопротивления исходя из нормативных документов составляет 0,30.

Размеры магистрального канала 1,20 × 1,20, диаметр канала 1,20 м.

Плотность воздуха в нижней части шахты естественной вентиляции [кг/м<sup>3</sup>]:

$$\rho(в) = \frac{353}{273 + 27} = 1,177 \text{ кг/м}^3.$$

Плотность воздуха в верхней части шахты естественной вентиляции:

$$\rho(н) = \frac{353}{273 - 37} = 1,496 \text{ кг/м}^3.$$

Мощность на участке шахты естественной вентиляции без направляющего элемента составляет по формуле (7):

$$P_{ГЕН} = 0,6 \cdot 1,496 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{8} \times \sqrt{\frac{1,8 \cdot 2^2 + 16 \cdot 9 \cdot (1,496 - 1,177)}{1,2 + 0,3 + (0,02 \cdot 9 / 1,2)}}^3 = 5,44 \text{ Вт}.$$

Проведённые теоретические и экспериментальные исследования скорости воздушного потока в шахте естественной вентиляции показали реальную возможность реализации возобновляемого источника энергии на базе восходящих тепловых воздушных потоков.

Для моделирования получения электроэнергии из тепловых восходящих потоков воздуха шахты естественной вентиляции была создана портативная аэротруба с возможностью регулирования скорости воздушного потока от 0,5 до 3 м/с.

На рис. 10 представлена портативная аэротруба с возможностью регулирования скорости воздушного потока.

Так как было выявлено, что скорость воздушного потока в различных частях шахты естественной вентиляции неравномерна, в среде 3D-моделирования AutoCAD была разработана экспериментальная 3D-модель насадки. Разработанная насадка предназначена для создания равномерного воздушного потока. 3D-модель конструкции насадки представлена на рис. 11.

Проведено исследование влияния устанавливаемой насадки на выходную часть вентиляционного канала, на изменение тяги, которое показало, что скорость воздушного потока до установки и после установки специальной насадки уменьшалась на 0,1–0,2 м/с. Для компенсации уменьшения тяги установлен дефлектор для систем естественной вентиляции. Был проведен анализ влияния сменных дефлекторов на изменение скорости воздушного потока в шахтах естественной вентиляции здания. Лучшие результаты были получены с активными дефлекторами. Турбина активного дефлектора создаёт частичный вакуум в канале, в результате чего скорость воздушного потока в шахте естественной вентиляции усиливается и при его установке с учётом вмонтированного распре-



Рис. 10. Портативная азотруба с возможностью регулирования скорости воздушного потока

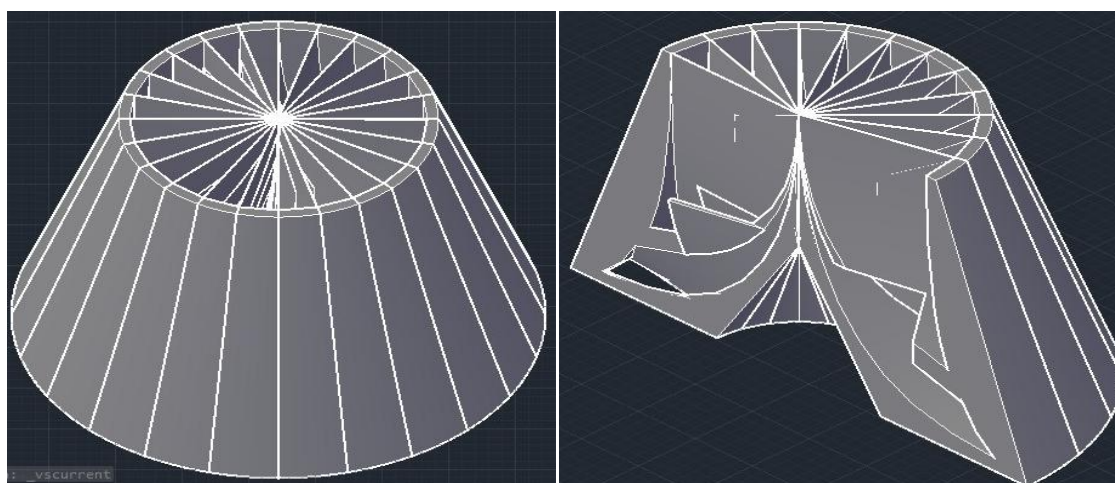


Рис. 11. 3D-модель конструкции насадки для равномерного распределения воздушного потока на выходе вентиляционной шахты

делительного устройства не уменьшает тягу. На рис. 12 представлен график изменения тяги в вентиляционной шахте МКД, оборудованной активным дефлектором с различным диаметром в зависимости от скорости воздушного потока.

Из графика изменения тяги в вентиляционном канале естественной вентиляции можно сделать вывод, что при установке разработанной насадки уменьшение скорости воздушного потока компенсируется активным дефлектором.

В ходе проведенных исследований предложена установка электроснабжения, которая может быть использована как возобновляемый альтернативный источник электроэнергии на объектах жилищно-коммунального хозяйства в системе освещения лестничных площадок, подъездов, подвальных и чердачных помещений малоэтажного и многоэтажного дома [20]. Модель установки представлена на рис. 13. Установка автономного электроснабжения состоит из следующих модулей:

модуль альтернативного источника электроэнергии, модуль накопления электроэнергии.

Установка альтернативного источника электроэнергии состоит из корпуса 2 и расположенного в нем генератора 3, который крепится на выходе вентиляционной шахты 1. На верхней части корпуса 2 закреплен сменный активный дефлектор 6, который с помощью вала крепится к генератору 3, который соединен электрическим кабелем с системой 8 накопления электроэнергии. Внутри корпуса установлен воздухонаправляющий элемент 4. В отапливаемом помещении расположена система 7 накопления электроэнергии. Система преобразует энергию восходящего теплового воздушного потока вентиляции здания в электрическую энергию [21–23]. Полученная в ходе преобразования восходящих потоков энергия может быть направлена на освещение различных площадей.

Было проведено исследование по установлению времени работы осветительных приборов

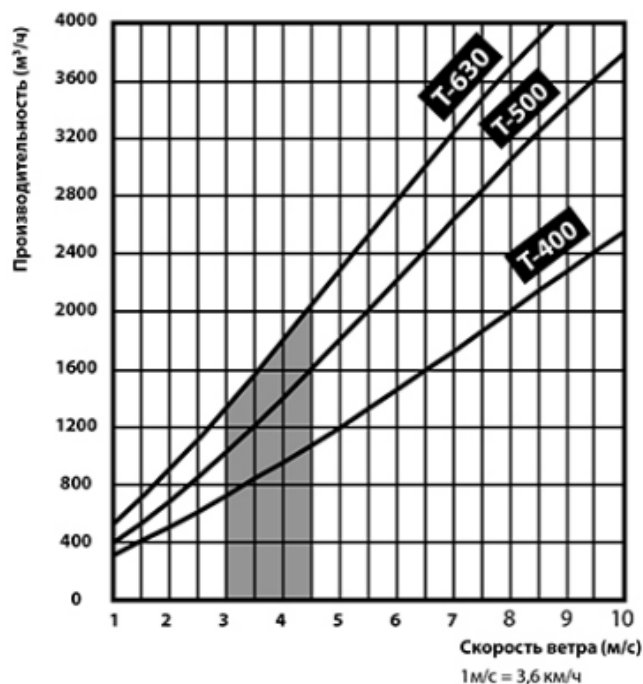


Рис. 12. График изменения тяги в вентиляционной шахте естественной вентиляции МКД с активным дефлектором диаметрами 400–630 мм

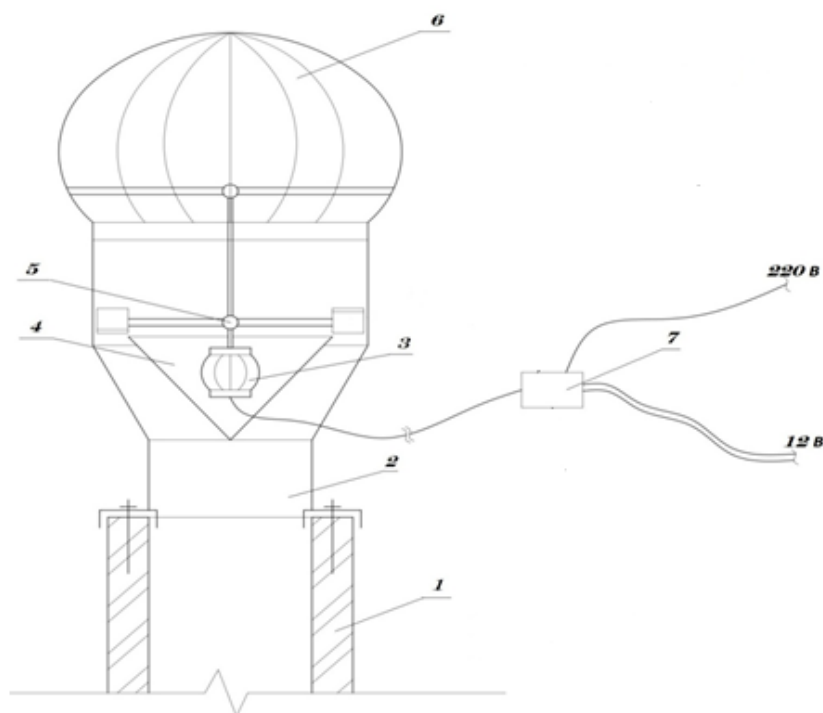


Рис. 13. Модель установки автономного электроснабжения

в многоэтажном многоквартирном доме. Установленный на лестнично-лифтовых узлах осветительный прибор ЛУЧ-12-С64Ф, 8 Вт оборудован датчиками движения (присутствия) и освещённости. В ходе исследования было выявлено, что в среднем за сутки каждый из 22 светодиодных светильников с блоком управления работает в среднем 41 минуту; округлив данное значение

до 1 часа работы, получаем 22 часа в сутки, мощность одного осветительного прибора составляет 8 Вт. На рис. 14 представлена схема размещения осветительных установок по этажам МКД.

На рис. 15 представлена схема накопления электроэнергии, поступающей с установки автономного электроснабжения.



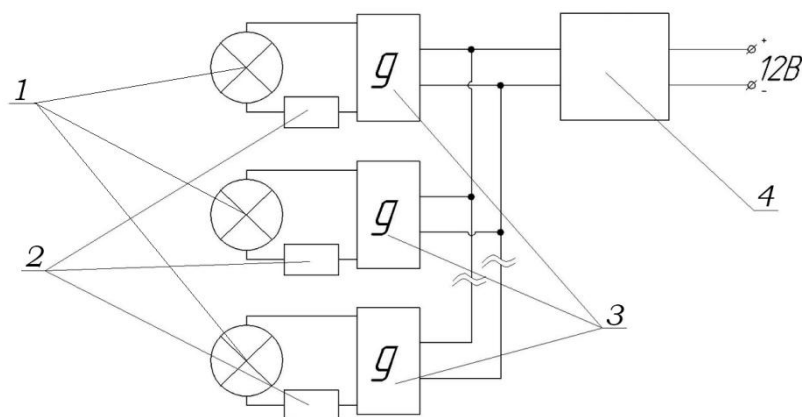


Рис. 14. Схема размещения осветительных установок по этажам МКД: 1 – осветительные приборы; 2 – датчики движения (присутствия); 3 – датчики освещенности; 4 – контроллер управления режимами питания системы освещения

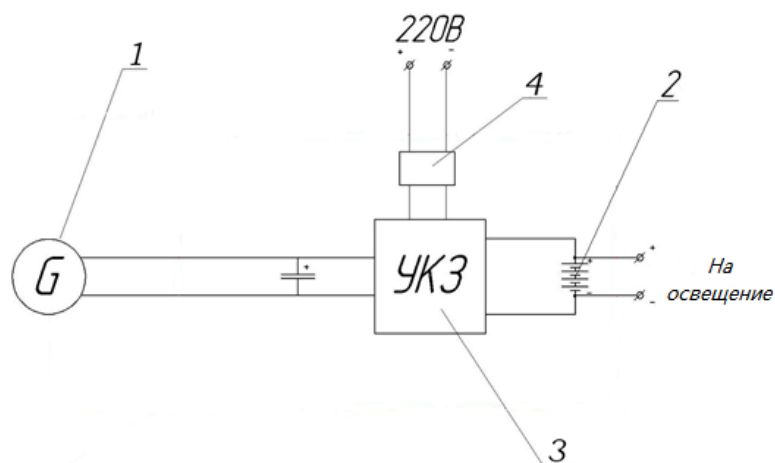


Рис. 15. Схема накопления электроэнергии, поступающей с установки автономного электроснабжения: 1 – генератор; 2 – аккумуляторные батареи; 3 – устройство контроля заряда (разряда) аккумуляторных батарей; 4 – преобразователь напряжения (преобразователь АС-АС 220-12 В)

На рис. 16 представлен внешний вид активно-го дефлектора.

Активный дефлектор (турбодефлектор) представляет собой элемент естественной вентиляции, который применяется для создания тяги в вентканалах. Работает турбодефлектор за счет силы ветра. Используется такое устройство в системах с естественной вентиляцией и состоит из активной головки с лопастями, установленной на основании с помощью подшипников с нулевым сопротивлением. Благодаря подшипникам турбина вращается с неизменной скоростью даже при порывистом ветре. Таким образом, ветер, попадая в лопасти, заставляет головку устройства двигаться, тем самым разрежая в системе воздух и улучшая при этом тягу. Для работы турбодефлектора достаточно ветра со скоростью 0,5 метра в секунду, так как все детали изготавливаются из легких материалов. Соответственно, чем сильнее ветер, тем выше мощность устройства. Вне зависимости от направ-

ления ветра, голова активного дефлектора всегда вращается только в одну сторону.

На рис. 17 представлена 3D-модель ветроколеса, которое установлено на вал генератора, расположенного внутри насадки.

Были проведены исследования аэродинамических характеристик различного рода ветроколес. Из ряда альтернативных конструкций были выбраны три варианта, представленные на рис. 18–20.

В ходе проведенных исследований было выявлено, что наилучшими аэродинамическими характеристиками обладает ветроколесо, представленное на рис. 19. Оно позволило получить более высокий КПД по сравнению с другими.

На рис. 21 изображено изготовленное ветроколесо по 3D-модели объекта, представленного на рис. 19.

На рис. 22 представлена насадка, крепящаяся к выходному каналу шахты естественной вентиляции, и устройство распределения воздушного потока.



Рис. 16. Активный дефлектор

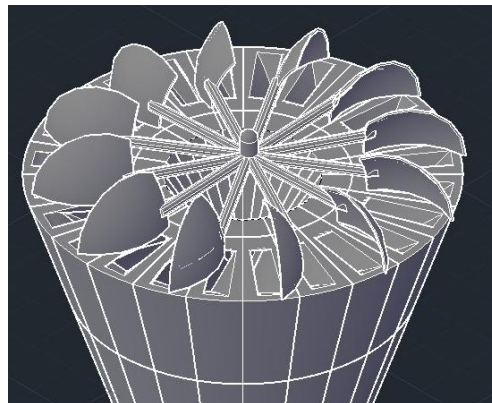


Рис. 17. 3D-модель ветроколеса с насадкой

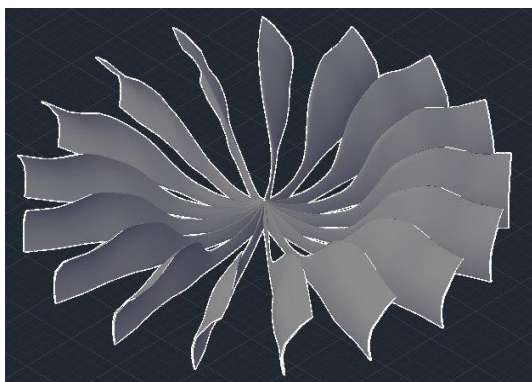


Рис. 18. 3D-модель ветроколеса по типу А

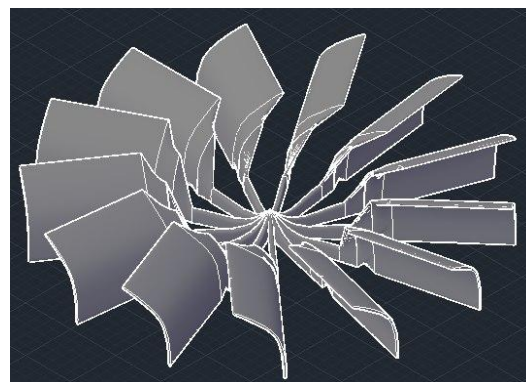


Рис. 19. 3D-модель ветроколеса по типу В

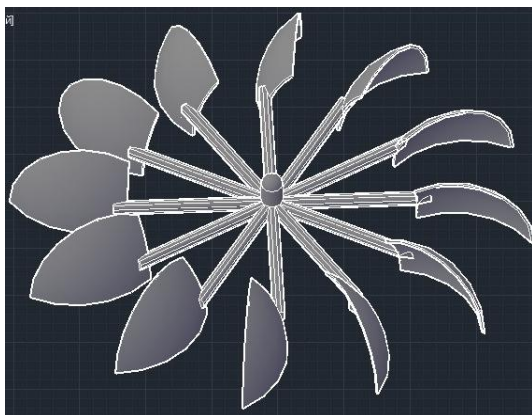


Рис. 20. 3D-модель ветроколеса по типу С



Рис. 21. Ветроколесо по типу В



Рис. 22. Насадка в выходную часть шахты естественной вентиляции

На рис. 23 показан внешний вид используемого генератора с редуктором, устанавливаемым в полости направляющего устройства, к которому крепится ветроколесо.

На рис. 24 представлен внешний вид ВИЭ из восходящих тепловых потоков с активным дефлектором.

Разработанный возобновляемый источник энергии с использованием восходящих тепловых воздушных потоков обладает следующими техническими характеристиками:

- диаметр ротора 75–100 см;
- направляющее устройство – 24 направляющих;
- стартовая скорость – 1,3 м/с;
- номинальная скорость – 2 м/с;
- рабочая скорость 1,4–5 м/с;
- количество лопастей – 13 шт.;
- лопасти – PLA, ABS пластик;

- тип – с вертикальным ротором;
- коэффициент использования энергии восходящего теплового потока –  $>0,6$ ;
- номинальное выходное напряжение – 12 В;
- номинальный выходной ток – 0,1–0,6 А.

Энергия, необходимая в сутки для освещения ЛЛУ, подвальных и чердачных помещений светодиодными светильниками исследуемого объекта, составляет 176 Вт·ч. Блок управления светодиодным светильником оснащён датчиком освещённости и движения, которые в режиме ожидания также потребляют электроэнергию – 0,1 Вт в режиме работы до 0,45 Вт вместе. При срабатывании датчика освещённости в паре с датчиком движения, на светодиодную панель поступает сигнал, который производит включение светодиодной панели, а как только движение прекращается либо освещённость помещения становится больше минимально установленного значения, через установ-

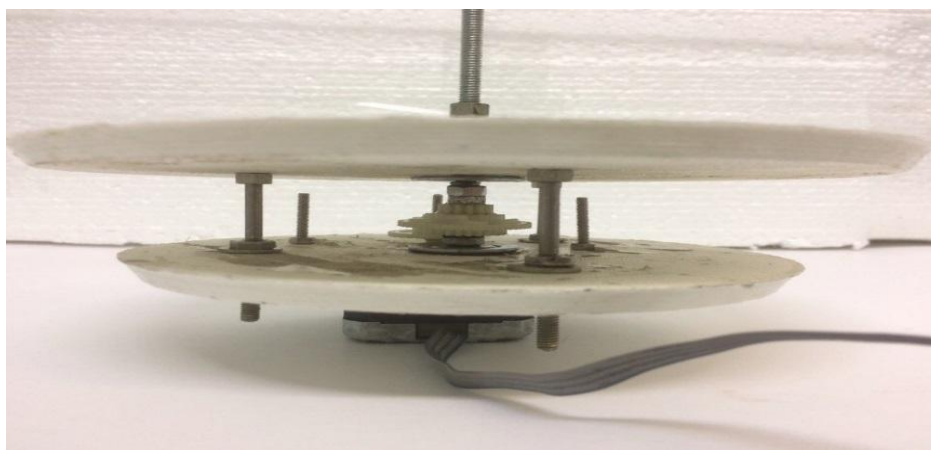


Рис. 23. Генератор с редуктором



Рис. 24. Внешний вид установки получения ВИЭ из восходящих тепловых потоков с активным дефлектором

## Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха...

ленный промежуток времени светодиодный светильник отключается. Соответственно, за сутки потребление электроэнергии датчиками освещённости и движения в режиме ожидания составит 2,4 Вт·ч, в режиме работы – 9,9 Вт·ч.

Современные устройства контроля заряда (разряда) аккумуляторных батарей потребляют ток во время работы от 0,1–0,125 А при напряжении питания 12 В [АКБ-12/485].

Для определения расчётных значений вырабатываемой мощности автономной системой электроснабжения в зависимости от повторяемости скоростей ветра, которые необходимы для расчёта, в табл. 2 представлена среднемесячная скорость движения воздушных потоков по ОМС г. Саранска.

Из представленных данных в табл. 2, следует, что среднее многолетнее значение скорости воздуха составляет 4,7 м/с.

Согласно данным работы [18] для оценки использования энергии воздушного потока в электрогенерации для системы освещения ЛЛУ, подвальных и чердачных помещений в местностях По-

волжья можно воспользоваться работой [18]. В данной работе представлена модифицированная формула Вейбулла – Гуревича, исходя из которой распределение ветра в точке установки автономной системы электроснабжения будет определяться согласно [18] по формуле:

$$p(v) = \frac{\gamma}{\bar{v}} \cdot \left(\frac{v}{\bar{v}}\right)^{\gamma} \cdot e^{-\left(\frac{v}{\bar{v}}\right)^{\gamma}}, \quad (8)$$

где  $v$  – случайное значение скорости ветра, а  $\bar{v}$  – среднее значение скорости ветра, значения  $\gamma$  – параметр распределения по областям Поволжья.

Подставив в формулу (8) значения скоростей ветра  $v$ , получим графическое изображение, представленное на рис. 25, повторяемости скоростей ветра в год в месте установки автономной системы электроснабжения.

Для осуществления оценки использования скорости ветра принимаем расчётную среднюю плотность уличного воздуха согласно данным метеонаблюдений в течение года, равную 1,2 кг/м<sup>3</sup>,

Таблица 2

Среднемесячная скорость движения воздушных потоков по ОМС г. Саранска

| Год  | Среднемесячная скорость движения воздушных потоков, м/с |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         | Средне-годовая скорость, м/с |
|------|---|---------|------|--------|-----|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|------------------------------|
|      | Январь  | Февраль | Март | Апрель | Май | Июнь | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь |                              |
| 2010 | 6,3   | 5,1     | 6,1  | 4,2    | 4,5 | 4,3  | 3,3  | 3,4    | 3,7      | 4,5     | 4,1    | 3,8     | 4,5                          |
| 2011 | 5,4   | 4,4     | 3,6  | 4,5    | 3,8 | 4,9  | 2,7  | 3,6    | 5,3      | 3,7     | 3,8    | 4,3     | 4,2                          |
| 2012 | 4,2   | 4,9     | 4,7  | 4,1    | 4,8 | 4,5  | 3,3  | 4,1    | 3,7      | 3,9     | 3,6    | 4,1     | 4,2                          |
| 2013 | 4,6   | 6,4     | 6,5  | 5,3    | 4,9 | 3,9  | 4,1  | 4,8    | 4,9      | 5,6     | 5,7    | 6,2     | 5,3                          |
| 2014 | 4,2   | 5,3     | 4,6  | 4,4    | 4,1 | 4,8  | 3,8  | 4,3    | 4,5      | 3,8     | 4,7    | 5,6     | 4,5                          |
| 2015 | 6,6   | 6,1     | 5,8  | 6,1    | 5,3 | 4,8  | 4,1  | 5,2    | 5,5      | 5,3     | 4,7    | 5,6     | 5,4                          |
| 2016 | 7,9   | 7,6     | 5,2  | 5,9    | 4,8 | 4,5  | 4,2  | 4,7    | 3,6      | 5,1     | 5,3    | 5,5     | 5,4                          |
| 2017 | 4,5   | 5,5     | 4,6  | 5,0    | 4,2 | 3,8  | 3,1  | 3,5    | 3,3      | 3,2     | 4,9    | 4,2     | 4,2                          |

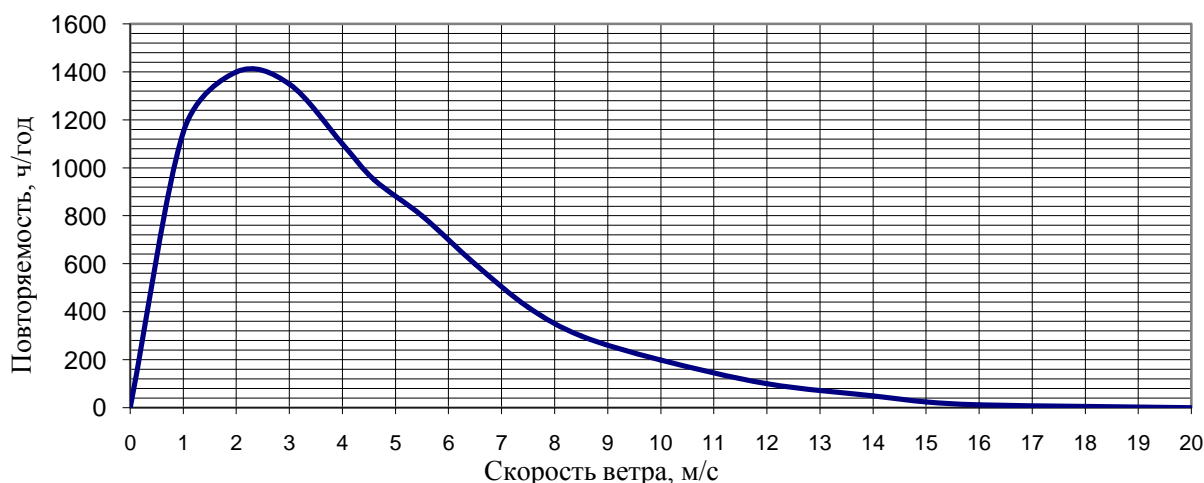


Рис. 25. Повторяемость скоростей ветра в год в месте установки автономной системы электроснабжения

так как среднегодовая температура воздуха в городе Саранске составляет 5,6 °С, средняя температура внутри шахты естественной вентиляции в течение года – 22 °С, плотность воздуха для 22 °С равна 1,12 кг/м<sup>3</sup>.

Подставив данные значения в формулу (7) с учётом повторяемости скоростей ветра за год, получим расчётное общее значение вырабатываемой мощности автономной системы электроснабжения.

В табл. 3 представлены значения вырабатываемой мощности автономной системой электроснабжения в зависимости от повторяемости скоростей ветра и с учётом разности давлений в шахте естественной вентиляции.

Как было приведено выше, осветительные приборы, используемые для освещения ЛЛУ, подвальных и чердачных помещений, потребляют в номинальном режиме работы 8 Вт каждый; с учётом среднего времени работы каждого прибора 1 час в сутки общее их потребление составляет 176 Вт·ч электроэнергии, датчики движения и освещенности с устройством контроля заряда в годовом выражении потребляют порядка 78,12 кВт·ч.

Для имитации восходящих воздушных потоков шахты естественной вентиляции и исследования по количеству вырабатываемой мощности разработанной установки был изготовлен испытательный стенд с возможностью регулирования воздушного потока до 3 м/с, на котором и проводились натурные испытания.

При проведении исследования направляющее устройство, устанавливаемое в выходной части металлического кожуха автономной системы элек-

троснабжения, обдувалось потоком воздуха со скоростями от 1 м/с до 3 м/с, затем, проходя через направляющие отверстия, поток распределялся на лопасти, прикреплённые к генератору, снаружи на активный дефлектор воздействовал ветер различной скорости, который приводил его в движение, вследствие чего происходило увеличение тяги в шахте естественной вентиляции за счёт разрежения воздуха вокруг активного дефлектора.

По результатам наблюдений скорость воздушного потока при окружающей температуре минус 9 °С и температуре 22 °С на выходе шахты составляла 1,5 м/с.

Расчётное значение вырабатываемой мощности по формуле (7) составляет 2,66 Вт.

В испытательном стенде был создан воздушный поток в выходной части, равный 1,5 м/с, к генератору была подсоединена нагрузка и был подключён ваттметр, показания которого составили 2,5 Вт. Также были проведены исследования для скоростей воздушного потока до 3 м/с, во время испытаний на активный дефлектор воздействовал создаваемый искусственный поток 1 м/с. Расчётные значения и полученные результаты на испытательном стенде представлены в табл. 4.

По результатам проведенного исследования на испытательном стенде и расчётным данным, полученным по формуле (7), можно сделать вывод о приемлемости применения формулы для расчёта потенциальной энергии, получаемой с помощью системы автономного электроснабжения, а также о возможности получения электроэнергии из восходящих тепловых потоков.

Таблица 3

Значения вырабатываемой мощности автономной системой электроснабжения в зависимости от повторяемости скоростей ветра

| Скорость ветра, м/с | Количество часов повторяемости скоростей ветра в год, ч | Генерация за час, Вт·ч | Генерация, кВт·ч за год |
|---------------------|---|------------------------|-------------------------|
| 1                   | 1150  | 1,460066               | 1,679076                |
| 2                   | 1400  | 2,051984               | 2,872778                |
| 3                   | 1350  | 3,038515               | 4,101996                |
| 4                   | 1200  | 4,419658               | 5,30359                 |
| 5                   | 1150  | 6,195414               | 7,124726                |
| 6                   | 800   | 8,365782               | 6,692626                |
| 7                   | 620   | 10,93076               | 6,777073                |
| 8                   | 320   | 13,89036               | 4,444914                |
| 9                   | 250   | 17,24456               | 4,31114                 |
| 10                  | 200   | 20,99338               | 4,198676                |
| 11                  | 100   | 25,13681               | 2,513681                |
| 12                  | 75  | 29,67485               | 2,225614                |
| 13                  | 60  | 34,6075                | 2,07645                 |
| 14                  | 50  | 39,93477               | 1,996739                |
| 15                  | 25  | 45,65665               | 1,141416                |
| 16                  | 10  | 51,77314               | 0,517731                |
| Сумма генерации     |   |                        | 57,97                   |

Расчётные значения и полученные результаты на испытательном стенде

| Уличная температура, °С | Скорость воздушного потока при уличной температуре, м/с | Плотность воздуха, кг/м <sup>3</sup> | Скорость воздушного потока в испытательном стенде, м/с | Расчётная мощность, Вт | Вырабатываемая мощность генератором, в испытательном стенде, Вт |
|-------------------------|---|--------------------------------------|--|------------------------|---|
| -10                     | 1,545   | 1,342205                             | 1,5  | 2,907877               | 2,85  |
| -11                     | 1,59  | 1,347328                             |  | 3,009766               |   |
| -12                     | 1,635   | 1,35249                              | 1,6  | 3,113135               | 3,05  |
| -13                     | 1,68  | 1,357692                             |  | 3,218007               |   |
| -14                     | 1,725   | 1,362934                             | 1,7  | 3,32441                | 3,24  |
| -15                     | 1,77  | 1,368217                             |  | 3,432369               |   |
| -16                     | 1,815   | 1,373541                             | 1,8  | 3,541911               | 3,45  |
| -17                     | 1,86  | 1,378906                             |  | 3,653063               |   |
| -18                     | 1,905   | 1,384314                             | 1,9  | 3,765853               | 3,68  |
| -19                     | 1,95  | 1,389764                             |  | 3,880309               |   |
| -20                     | 1,995   | 1,395257                             |  | 3,996461               |   |
| -21                     | 2,04  | 1,400794                             | 2,0  | 4,114338               | 4,03  |
| -22                     | 2,085   | 1,406375                             |  | 4,233971               |   |
| -23                     | 2,13  | 1,412                                | 2,1  | 4,355389               | 4,28  |
| -24                     | 2,175   | 1,417671                             |  | 4,478626               |   |
| -25                     | 2,22  | 1,423387                             | 2,2  | 4,603713               | 4,54  |
| -26                     | 2,265   | 1,42915                              |  | 4,730682               |   |
| -27                     | 2,31  | 1,434959                             | 2,3  | 4,859568               | 4,81  |
| -28                     | 2,355   | 1,440816                             |  | 4,990406               |   |
| -29                     | 2,4   | 1,446721                             | 2,4  | 5,123229               | 5,03  |
| -30                     | 2,445   | 1,452675                             |  | 5,258074               |   |
| -31                     | 2,49  | 1,458678                             |  | 5,394977               |   |
| -32                     | 2,535   | 1,46473                              | 2,5  | 5,533977               | 5,5   |
| -33                     | 2,58  | 1,470833                             |  | 5,67511                |   |
| -34                     | 2,625   | 1,476987                             | 2,6  | 5,818417               | 5,77  |
| -35                     | 2,67  | 1,483193                             |  | 5,963937               |   |
| -36                     | 2,715   | 1,489451                             | 2,7  | 6,111711               | 6,1   |
| -37                     | 2,76  | 1,495763                             |  | 6,261781               |   |
| -38                     | 2,805   | 1,502128                             | 2,8  | 6,41419                | 6,39  |
| -39                     | 2,85  | 1,508547                             |  | 6,56898                |   |
| -40                     | 2,895   | 1,515021                             |  | 6,726197               |   |
| -41                     | 2,94  | 1,521552                             | 2,9  | 6,885887               | 6,74  |
| -42                     | 2,985   | 1,528139                             |  | 7,048096               |   |
| -43                     | 3,03  | 1,534783                             |  | 3,0                    |   |

Вырабатываемая энергия за календарный год составляет 57,97 кВт·ч необходимая на освещение – 78,12 кВт·ч, вследствие расхождения значений видится необходимым проведение ряда исследований и мероприятий, которые позволят сократить до минимума разницу между вырабатываемой и необходимой энергией, а в настоящее время получать разницу, необходимую для освещения лестнично-лифтовых узлов, подвальных и чердачных помещений, возможно из общедомовой сети питания 220 В.

Из-за необходимости получения большого количества разрешений при внедрении альтернативного источника электроэнергии в эксплуатацию перед началом выполнения работ по установ-

ке альтернативного источника на вытяжную шахту естественной вентиляции испытания на реальном МКД не проводились.

### Выводы

Согласно данным, полученным в ходе натуральных экспериментов, можно сделать следующие выводы: скорость воздушного теплового потока в шахте естественной вентиляции зависит от разности температур внутреннего и наружного воздуха; в периоды времени года, когда наружная температура минимальна, в шахте естественной вентиляции отмечается самая большая скорость воздушного потока, и наоборот. Также можно отметить, что, согласно результатам исследований, в многоэтажных зданиях

значения скорости воздушного потока на выпуске из выходного канала шахты естественной вентиляции может достигать 2,5 м/с и более при низких температурах окружающей среды.

Исходя из проведённых исследований, представляется возможным использовать восходящие тепловые воздушные потоки для получения энергии.

Для преобразования кинетической энергии восходящих тепловых потоков шахты естественной вентиляции в электрическую используют ветрогенераторы. Исходя из того, что скорость в вытяжной шахте естественной вентиляции имеет значения в диапазоне от 1 м/с до 2,5 м/с, целесообразно использовать тихоходные генераторы. Они способны при небольших оборотах генерировать мощность для передачи, накопления и дальнейшего использования.

### Литература

1. Халиков, Ш.Х. Развитие электроэнергетики Таджикистана на базе комплексного использования водных ресурсов: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05, 08.00.14 / Ш.Х. Халиков. – М.: Рос. ун-т дружбы народов, 2008. – 199 с.
2. Алехин, В.А. Области применения солнечной энергетики / В.А. Алехин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Тула: ТулГУ, 2013. – С. 3–7.
3. Леонтьева, К.Л. Экономическая эффективность применения альтернативных источников энергии на севере России / К.Л. Леонтьева // Экономика и современный менеджмент: теория и практика: сб. ст. по матер. XIV междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК, 2012. – <https://sibac.info/conf/econom/xiv/28434> (дата обращения: 22.10.2018).
4. Пат. 92936 РФ. МПК F21K 99/00. Автономный уличный светильник / В.С. Галуцак, А.Г. Сошинов, В.С. Носов, С.С. Кухарек. – заяв. 26.02.1998; опубл. 10.04.2010, Бюл. № 10.
5. Пат. 134712 РФ. МПК H02J 7/35. Система автономного освещения подъездов / Р.В. Безуглов, В.В. Папин, П.Н. Харитонов. – заяв. 05.04.2013; опубл. 20.11.2013, Бюл. № 32.
6. Красовский, А.А. Модульные ветроэнергетические установки с управляемым колебательным рабочим движением – путь решения энергетических проблем / А.А. Красовский // Изв. РАН. Теория и системы упр. – 2001. – № 6. – С. 145–151.
7. Пат. 2394183 РФ. МПК F21S 9/02. Автономное устройство освещения дорог, улиц, дворов / Н.В. Малютин, Ю.Л. Булкин, С.А. Ткачев. – заяв. 13.08.2008; опубл. 10.07.2010, Бюл. № 19.
8. Пат. 2283985. МПК F21S 9/02. Наружный светильник с питанием от солнечной энергии / В.С. Галуцак; заяв. 09.04.2004; опубл. 20.09.2006, Бюл. № 26.
9. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ (с изм. и доп.). – <http://base.garant.ru/12171109/> (дата обращения: 22.10.2018).
10. Ziebig, A. Energy Systems of Complex Buildings (Green Energy and Technology) / A. Ziebig, K. Hoinka. – Springer, 2014. – 346 p.
11. Кабанов, О.В. Разработка автономной системы освещения / О.В. Кабанов. – <http://imnik.fasie.ru/cabinet/organizer/entry/21353/info/> (дата обращения: 22.10.2018).
12. Скрябин, В.И. Исследование скорости потока воздуха в системах естественной вентиляции жилого здания в зимних условиях / В.И. Скрябин, В.Г. Старостин // Вестник СВФУ. – 2011. – № 4, Т. 8. – С. 56–59.
13. Кабанов, О.В. К вопросу использования альтернативных источников энергии / О.В. Кабанов, С.А. Панфилов // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы VII международной научно-практической конференции. – Саратов: ЦСА, 2016. – С. 78–83.
14. Кабанов, О.В. Альтернативные источники энергии и их перспективы / О.В. Кабанов, С.А. Панфилов // Материалы XX научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов НИ МГУ им.Н.П. Огарева. – Саранск: МГУ Огарева, 2016. – С. 164–169.
15. Кабанов О.В. Альтернативные источники энергии и их перспективы / О.В. Кабанов, С.А. Панфилов, В.А. Пинимаскин, Н.О. Харитонин // Материалы XXI научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов НИ МГУ им. Н.П. Огарёва. – Саранск: НИ МГУ им. Н.П. Огарева, 2017. – С. 116–120.
16. Скорость воздуха в воздуховоде: – <https://iproclimaty.ru/raschet/skorost-vozduxa-v-vozduxovode.html> (дата обращения: 23.01.2018).
17. Работа систем вытяжной естественной вентиляции в жилом доме г. Тюмени / Т.С. Жилина, С.Д. Вяткина, Ю.С. Вяткина, В.С. Пересторонин // Технические науки в России и за рубежом: материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2017 г.). – М.: Буки-Веди, 2017. – С. 106–111. – <https://moluch.ru/conf/tech/archive/286/13140/> (дата обращения: 23.01.2018).
18. Галуцак, В.С. Повышение энергоэффективности сельскохозяйственных электроосветительных установок за счет использования аэробарических автономных источников энергии: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / В.С. Галуцак. – Саратов, 2015. – 127 с.
19. Альтернативная энергия – <https://alternativenergy.ru/vetroenergetika/81-raschet-.html> (дата обращения: 29.03.2018).
20. Панфилов, С.А. Система получения альтернативной энергии из ресурсов многоквартирного дома / С.А. Панфилов, О.В. Кабанов, А.С. Хремкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 53–61.
21. Пат. 163487. РФ. МПК H02J 7/35 Система автономного электроснабжения осветительных

установок / О.В. Кабанов, А.С. Хрёмкин, А.Ю. Романовский, С.А. Панфилов; заяв. 03.12.2015; опубл. 20.07.2016; Бюл. № 20.

22. Пат. 2674439. РФ. МПКН02J 7/35 Установка автономного электроснабжения / О.В. Кабанов, С.А. Панфилов, А.С. Хрёмкин, В.К. Хрёмки-

на, Л.П. Кабанова; заяв. 01.09.2016; опубл. 10.12.2018; Бюл. № 34.

23. Kabanov, O.V. *Autonomous Power Supply System for Lighting Equipment* / O.V. Kabanov, S.A. Panfilov // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2017. – Vol. 12, Iss. 10 SI. – P. 8954–8958.

**Кабанов Олег Владимирович**, старший преподаватель кафедры электроники и электротехники института электроники и светотехники, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск), jhostmc@mail.ru.

**Панфилов Степан Александрович**, доктор технических наук, профессор кафедры электроники и электротехники института электроники и светотехники, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск), panphilovsa@gmail.com

**Мелешкин Андрей Игоревич**, студент кафедры электроники и электротехники института электроники и светотехники, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск), mr.andryroy@mail.ru

Поступила в редакцию 28 мая 2020 г.

DOI: 10.14529/build200307

## DEVELOPMENT OF AN ALTERNATIVE SOURCE OF ELECTRICITY BASED ON ASCENDING AIR FLOWS OF A NATURAL VENTILATION SHAFT

O.V. Kabanov, jhostmc@mail.ru.

S.A. Panfilov, panphilovsa@gmail.com

A.I. Meleshkin, mr.andryroy@mail.ru

Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation

Studies of the airflow velocity in the outlet channel of the natural ventilation shaft of an apartment building at different ambient temperatures are conducted, and mathematical expressions for determining the power generated by the wind-driven generator are shown. An alternative energy source, which uses the resources of an apartment building to generate electricity, is proposed. The developed source of an autonomous power supply based on ascending heat flows can be used for lighting staircase elevators, basements and attics. The conducted research and measurements have shown the feasibility and relevance of the completed work and the prospects for further research in this field.

*Keywords: source, electricity, autonomous source, ventilation, air flows, alternative energy, renewable energy sources.*

### References

1. Khalikov Sh.Kh. *Razvitiye elektroenergetiki Tadjikistana na baze kompleksnogo ispol'zovaniya vodnykh resursov: dissertatsiya kandidata ekonomicheskikh nauk* [Development of the Electric Power Industry of Tajikistan on the Basis of Complex Use of Water Resources. Cand. economic sciences diss.]. Moscow, Peoples Friendship University of Russia Publ., 2008. 199 p.
2. Alekhin V.A. [Fields of Application of Solar Energy]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki* [Bulletin of Tula State University. Technical science]. Tula, TulGU Publ., 2013, pp. 3–7. (in Russ.)
3. Leont'yeva K.L. [Economic Efficiency of Using Alternative Energy Sources in the North of Russia]. *Ekonomika i sovremennyy menedzhment: teoriya i praktika: sb. st. po mater. XIV mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Economics and Modern Management: Theory and Practice: Collection. Art. by Mater. XIV Int. Scientific-Practical Conf.]. Novosibirsk, SibAK Publ., 2012. (in Russ.). Available at: <https://sibac.info/conf/econom/xiv/28434> (accessed 22.10.2018).
4. Galushchak V.S., Soshinov A.G. Nosov V.S., Kukharek S.S. *Avtonomnyy ulichnyy svetil'nik* [Autonomous Street Lamp]. Patent RF, no. 92936, 2010.
5. Bezuglov R.V., Papin V.V., Kharitonov P.N. *Sistema avtonomnogo osveshcheniya pod'yezdov* [Autonomous Lighting System of Entrances]. Patent RF, no. 134712, 2013.
6. Krasovskiy A.A. [Modular Wind Power Plants with Controlled Oscillatory Working Movement – a Way to Solve Energy Problems]. *Izv. RAN. Teoriya i sistemy upr.* [News RAS. Control Theory and Systems], 2001, no. 6, pp. 145–151. (in Russ.)



7. Maljutin N.V., Bulkin Yu.L., Tkachev S.A. *Avtonomnoye ustroystvo osveshcheniya dorog, ulits, dvorov* [Autonomous Lighting Device for Roads, Streets, Yards]. Patent RF, no. 2394183, 2010.
8. Galushchak V.S. *Naruzhnyy svetil'nik s pitaniyem ot solnechnoy energii* [Outdoor Lamp Powered by Solar Energy]. Patent RF, no. 2283985, 2006.
9. *Federal'nyy zakon ot 23 noyabrya 2009 g. N 261-FZ. Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti, i o vnesenii izmeneniy v otdel'nyye zakonodatel'nyye akty Rossiyskoy Federatsii (s izm. i dop.)* [Federal Law of November 23, 2009 N 261-FZ. On Energy Saving and on Improving Energy Efficiency, and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation], 2009. 44 p. Available at: <http://base.garant.ru/12171109/> (accessed 22.10.2018).
10. Ziebig A., Hoinka K. [Energy Systems of Complex Buildings (Green Energy and Technology)]. Springer, 2014. 346 p.
11. Kabanov O.V. *Razrabotka avtonomnoy sistemy osveshcheniya* [Development of an Autonomous Lighting System]. Available at: <http://umnik.fasie.ru/cabinet/organizer/entry/21353/info/> (accessed 22.10.2018).
12. Skryabin V.I., Starostin V.G. [Research of Air Flow Rate in Natural Ventilation Systems of a Residential Building in Winter Conditions]. *Vestnik SVFU* [Bulletin of NEFU], 2011, vol. 8, no. 4, pp. 56–59. (in Russ.)
13. Kabanov O.V., Panfilov S.A. [To the Question of Using Alternative Energy Sources]. *Aktual'nyye problemy energetiki APK: materialy VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Actual Problems of the Energy Sector of the Agro-Industrial Complex: Materials of the VII International Scientific and Practical Conference]. Saratov, TSSA Publ., 2016, pp. 78–83. (in Russ.)
14. Kabanov O.V., Panfilov S.A. [Alternative Energy Sources and their Prospects]. *Materialy XX nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov NI MGU Ogareva* [Materials of the XX Scientific-Practical Conference of Young Scientists, Graduate Students and Students of the Moscow State University Ogarev]. Saransk, NI MGU Ogareva Publ., 2016, pp. 164–169. (in Russ.)
15. Kabanov O.V., Panfilov S.A., Pinimaskin V.A., Kharitonin N.O. [Alternative Energy Sources and Their Prospects]. *Materialy XXI nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov NI MGU Ogareva* [Materials of the XXI Scientific-Practical Conference of Young Scientists, Graduate Students and Students of the Moscow State University Ogarev]. Saransk, NI MGU Ogareva Publ., 2017, pp. 116–120. (in Russ.)
16. *Skorost' vozdukha v vozdukhovode* [The Speed of the Air in the Duct]. Available at: <https://1poclimate.ru/raschet/skorost-vozduxa-v-vozdukhovode.html> (accessed 23.01.2018).
17. Zhilina T.S., Vyatkina S.D., Vyatkina Yu.S., Perestoronin V.S. [The Operation of Exhaust Natural Ventilation Systems in a Residential Building g. Tyumen]. *Tekhnicheskkiye nauki v Rossii i za rubezhom: materialy VII Mezhdunar. nauch. konf.* [Engineering in Russia and Abroad: Materials of the VII Intern. Scientific Conf. (Moscow, November 2017)]. Moscow, Buki-Vedi Publ., 2017, pp. 106–111. (in Russ.). Available at: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/286/13140/> (accessed 23.01.2018).
18. Galushchak V.S. *Povysheniye energoeffektivnosti sel'skokhozyaystvennykh elektroosvetitel'nykh ustanovok za schet ispol'zovaniya aerobaricheskikh avtonomnykh istochnikov energii. Dis. kand. tekhn. nauk* [Improving the Energy Efficiency of Agricultural Electric Lighting Installations through the Use of Aerobaric Autonomous Energy Sources. Cand. sci. diss.]. Saratov, 2015. 127 p.
19. *Al'ternativnaya energiya* [Alternative Energy]. Available at: <https://alternativenergy.ru/vetroenergetika/81-raschet-.html> (accessed 29.03.2018).
20. Panfilov S.A., Kabanov O.V., Khremkin A.S. [System for Producing Alternative Energy from the Resources of an Apartment Building]. *Bulletin of South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 53–61. (in Russ.)
21. Kabanov O.V., Khrëmkin A.S., Romanovskiy A.Yu., Panfilov S.A. [Autonomous Power Supply System for Lighting Installations]. Patent RF, no. 163487, 2016.
22. Kabanov O.V., Panfilov S.A., Khremkin A.S., Khremkina V.K., Kabanova L.P. [Installation of Autonomous Power Supply]. Patent RF, no. 2674439. 2018.
23. Kabanov O.V., Panfilov S.A. [Autonomous Power Supply System for Lighting Equipment]. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, vol. 12, iss. 10 SI, pp. 8954–8958.

Received 28 May 2020

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Кабанов, О.В. Разработка альтернативного источника электроэнергии на базе восходящих воздушных потоков шахты естественной вентиляции / О.В. Кабанов, С.А. Панфилов, А.И. Мелешкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 47–63. DOI: 10.14529/build200307

#### FOR CITATION

Kabanov O.V., Panfilov S.A., Meleshkin A.I. Development of an Alternative Source of Electricity Based on Ascending Air Flows of a Natural Ventilation Shaft. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2020, vol. 20, no. 3, pp. 47–63. (in Russ.). DOI: 10.14529/build200307