ГБОУ «Школа №1799»

Исследовательская работа

Поиски потерянных источников энергии. Варианты их использования.

Автор работы: Вальтер А.О. 11Г класс

Научный руководитель: Караман Л.А.

Заслуженный учитель Российской Федерации

Москва, 2019

ГБОУ «Школа №1799»

Исследовательская работа

Поиски потерянных источников энергии. Варианты их использования.

Автор работы: Вальтер А.О. 11Г класс

Научный руководитель: Караман Л.А.

Заслуженный учитель Российской Федерации

Москва, 2019

РЕЦЕНЗИЯ

на исследовательскую работу учащейся 11г класса ГБОУ «Школа №1799»

Вальтер Анны Олеговны «Поиски потерянных цивилизацией источников энергии. Варианты их использования.»

Работа актуальна в связи с тем, что рассматривает глобальную проблему острой нехватки источников энергии на примере города Москвы.

Над исследованием Анна работала год, она проявила свои возможности генерировать идеи, трудоспособность и стрессоустойчивость.

Содержание работы соответствует целям и задачам исследовательской работы.

Проделана фундаментальная работа. Изучение литературы, проведение экспериментов, вывод формул и расчет погрешностей – все необходимые этапы были пройдены, что очень ценно с точки зрения науки.

Данная работа имеет большую практическую значимость – нерациональная трата ресурсов была исследована, в цифрах было показаны те возможности, что мы упускаем, а также предложены или найдены установки по эксплуатации этой энергии.

Анна успешно справлялась с задачами, стоящими перед ней, но не были исключением случаи, когда эти задачи выполнялись в последний момент.

Вывод: работа Вальтер Анны отвечает требованиям, предъявляемым к исследованию и рекомендуется к защите.

Научный руководитель:

Заслуженный учитель России Караман Л.А. / Караман

«28» февраля 2019 Г.

Содержание

Аннотация……..…….....4

Введение…….…..….....……..……5

Глава 1. Где энергия была потеряна.....7

1. Метрополитен.....7

1.1 Механическая энергия пассажиров...….....….....7

1.2 Энергия потоков воздуха.....8

1.2.1 Энергия вентиляционных потоков.....…….....8

1.2.2 Энергия потоков воздуха на станциях и эскалаторах….....9

1.2.3 Энергия потоков воздуха в тоннелях.....9

Глава 2. Планирование и визуализация экспериментов, получение результатов.....10

1. Метрополитен.....10

1.1. Наблюдения и теоретические исследования…….....10

1.1.1. Создание экспериментальной установки……...…….....10

1.1.2. Проведение эксперимента…….....10

1.1.3. Вывод формул, теоретические расчёты, графики и диаграммы.....11

1.1.4. Оценка энергии потоков воздуха вентиляционной шахты.....11

1.1.5. Расчет погрешностей.....12

1.1.6. Оценка энергии выхода потоков воздуха из тоннеля.....13

1.1.7. Расчет погрешностей.....13

1.1.8. Механическая энергия.....14

1.1.9. Расчет погрешностей.....15

1.2. Анализ полученных результатов и прогнозы…….....16

2. Солнечная энергия для мегаполиса…….....17

2.1 Виды модулей и варианты их эксплуатирования.....17

2.2 Солнечная активность в Москве на основе данных Global Solar Atlas.....17

2.3 Вывод формул, теоретические расчёты, графики и сравнительные диаграммы для зданий различного типа Москвы…….....…18

2.4 Анализ полученных результатов и прогнозы….....18

Выводы……..……...19

Благодарности……..……19

Список литературы…….....20

Аннотация

Цель работы:

Рассчитать энергетические потери и предложить варианты их использования в московском метрополитене, применить солнечную активность нашей звезды для Москвы, что способствовало бы экономическому развитию города и улучшению экологических условий.

Задачи:

- Найти источники потерянной энергии
- Изучить:
    - принцип работы вентиляционных систем
    - явление аэродинамического сопротивления движению воздуха в тоннелях
    - архитектуру станций метро; архитектуру Москвы
    - принцип работы солнечных панелей
    - исследования солнечной активности в Москве
- Придумать и провести эксперимент с воздушными потоками на созданной мной установке
- Выполнить теоретические расчеты:
    - энергетических потерь в метрополитене, используя данные полученные в ходе экспериментов, основываясь на законах сохранения энергии и полученную информацию из научно-технической библиотеки метрополитена.
    - энергии Солнца, которая попадает на крыши Москвы.
- Оценить погрешности
- Сделать вывод и выдвинуть прогнозы

Вывод:

Если инженеры найдут способ использовать воздушные потоки в метрополитене в свою пользу, то метрополитен будет более рентабельным.

Если найдется финансовая возможность устанавливать солнечные батареи, то перестанут использоваться дефицитные ресурсы планеты для содержания домов. Любое такое здание станет автономным, то есть будет способно содержать самого себя.

Введение

<u>Проблема</u>: человечество не всегда рационально использует ресурсы, чаще от не возобновляемых источников, в то время как энергетический вопрос - довольно острый.

Объект исследования:

- Московский метрополитен: вентиляционная система, тоннели, архитектура станции.
- Крыши зданий города Москвы, солнечные батареи.

Предмет исследования:

- Расчёты энергетических потерь и прогнозы их использования для метрополитена.
- Эффективное использование солнечных батарей с точки зрения энергосбережения для зданий старой Москвы с учетом исследования солнечной активности в городе.

Актуальность:

Актуальность этой работы заключается в том, что обращается внимание на проблему нерационального использования энергетических ресурсов города Москвы, рассчитывается количество энергии и предлагаются способы ее использования.

Гипотезы:

1. Возможно ли произвести оценки энергии отработанных потоков воздуха вентиляционных шахт.
2. Возможно ли произвести оценки энергии воздушных масс при приближении и удалении поездов на станциях метро, при работе эскалаторов на подъем и спуск.
3. Возможно ли произвести оценку экологического энергосбережения, применяя солнечные батареи на инфраструктуре зданий старой Москвы.
4. Эксплуатация сэкономленной энергии возможна и рентабельна.

Цель работы:

Рассчитать энергетические потери и предложить варианты их использования в московском метрополитене, применить солнечную активность нашей звезды для

Москвы, что способствовало бы экономическому развитию города и улучшению экологических условий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- Найти источники потерянной энергии.
- Изучить:
    - принцип работы вентиляционных систем
    - явление аэродинамического сопротивления движению воздуха в тоннелях
    - архитектуру станций метро; архитектуру Москвы
    - принцип работы солнечных панелей
    - исследования солнечной активности в Москве
- Придумать и провести эксперимент с воздушными потоками на созданной мной установке
- Выполнить теоретические расчеты:
    - энергетических потерь в метрополитене, используя данные полученные в ходе экспериментов, основываясь на законах сохранения энергии и полученную информацию из научно-технической библиотеки метрополитена.
    - энергии Солнца, которая попадает на крыши Москвы.
- Оценить погрешности
- Сделать вывод и выдвинуть прогнозы

Методы:

- Эмпирические
    - Изучение источников информации
    - Анализ полученных сведений
    - Эксперимент
- Теоретические
    - Анализ
    - Моделирование
    - Аналогия
    - Дедукция

ГЛАВА 1. ГДЕ ЭНЕРГИЯ БЫЛА ПОТЕРЯНА?

Метрополитен

Моя жизненная цель - с помощью науки изменить жизнь людей. Каждый день проходит в поисках инноваций. Часто пользуясь метрополитеном, я обратила внимание на воздушные потоки, возникающие из-за движения поездов, идущие от вентиляционных шахт. Я нашла множество потерянных источников энергии, используя которые мы могли бы уменьшить издержки на метро.

Вентиляционная система — это обязательный элемент жизнедеятельности метро, но при ее работе происходит утечка энергии, которая, на сегодняшний день, никаким образом не используется человечеством.

Развивая мысль за пределы Москвы, было обнаружено, что солнечная энергия в России крайне неэффективно используется. Так что я исследовала ее количество в Москве, которое приходится на каждое здание, чтобы показать, что данная идея рентабельна.

Эта работа создана для того, чтобы обратить внимание на проблему нерационального использования ресурсов на примере города Москвы и попробовать предложить свои варианты решения проблемы.

Механическая энергия пассажиров

53 768 миллионов пассажиров в год. Именно столько перевозят 10 самых загруженных метро в мире. Естественно, не было изучено количество пассажиров всех метро во всех странах, но можно догадаться, что цифра довольно большая.

Московским же метрополитеном ежесуточно пользуется в среднем около 7 млн пассажиров, в будние дни этот показатель может превышать 9 млн человек. Самым загруженным днем для московского метро в 2014 году стало 25 декабря, тогда метрополитен перевез 9 млн 632 тыс. пассажиров. Всего в 2014 году метро воспользовались 2 млрд 451 млн 300 тыс. пассажиров. [2]

Поэтому я решила измерить энергию толчка пассажиропотока. Ведь наверняка, если установить в двери датчики, создать систему, которая бы преобразовывала механическую энергию в электрическую, то можно было бы получать большое количество дополнительной энергии.

Турникеты с пьезоэлементами разместили на станции в токийском метро, где каждый день проходят сотни тысяч человек. Подходя к турникету, посетители наступают на пьезоэлементы, вмонтированные в пол, и таким образом передают энергию от давления своего тела.

В Нидерландах установлены двери-генераторы при входе в торговый центр Natuur Cafe La Port. Одно такое устройство производит до 4600 кВт/час в год. [20]

Это значит, что идея рабочая и целесообразная. Так что я проанализировала процесс открытия двери пассажирами, провела эксперимент и рассчитала количество энергии, все полученные данные приведены во второй части.

Энергия потоков воздуха

Удаление выделяющегося тепла является главной задачей вентиляции тоннелей; это жизненно необходимая функция для метро. Если тепловыделения не удалять, будет наблюдаться постепенный прогрев окружающего грунта и повышение температуры воздуха в тоннелях и на станциях, что приводит к катастрофическим последствиям.

В дальнейшем будет продемонстрирован эксперимент, благодаря которому удалось рассчитать энергию отработанных вентиляционных потоков.

Следует отметить, в силу интенсивного перемешивания воздуха в тоннелях движущимися поездами отсутствует резкая разница между температурой воздуха в тех точках тоннелях, куда воздух подается снаружи и в тех точках, откуда он удаляется. Поэтому все расчеты будут вестись на 1 погонный метр трассы тоннеля.

Тепловыделения в метрополитене имеются на станциях, в перегонных тоннелях, в вестибюлях, эскалаторных залах и других местах, однако при расчете основной

вентиляции по теплоизбыткам необходимо учитывать только то тепло, которое выделяется поездами, различными устройствами и механизмами, а также людьми в пределах платформ станций и на перегонах.

$\boxed{Q = Q_п + Q_л + Q_э + Q_в,}$ суммарные теплопоступления в тоннель,

где $Q_п$ – теплопоступления от поездов в ккал/ч;

$Q_л$ – теплопоступления от людей в ккал/ч;

$Q_э$ – теплопоступления от электрических установок в ккал/ч;

$Q_в$ – теплопоступления от воздуха вентиляции (когда температура наружного воздуха выше температуры воздуха в тоннеле) в ккал/ч.

Энергия вентиляционных потоков

Так выглядит вентиляционный киоск

У потоков, что выходят из вентиляционной шахты

Энергия потоков воздуха на станциях и эскалаторах

Так как опыт с вентиляционными киосками был удачен, было принято решение провести тот же эксперимент внутри метро. Однако не до конца понятна природа воздушных потоков внутри станции, так как слишком много влияющих факторов.

Энергия потоков воздуха в тоннелях

На расход топлива, значительное влияние оказывает аэродинамическое сопротивление. В тоннелях метро эта проблема ставится ребром, ведь поезду приходится преодолевать колоссальное сопротивление, что увеличивает итак немалые затраты. Но если использовать потоки вытесняемого воздуха в свою сторону, то вложение в разработку и установку приборов, преобразовывающих эту энергии в электрическую, является рентабельным. Мною был проведен эксперимент, на основе которого я посчитала

количество энергии от выхода поезда из тоннеля. Если представить в перспективе сколько поездов проходит за сутки в метро, появляется понимание как много «лишней» энергии можно получать.

ГЛАВА 2. ПЛАНИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ПОЛУЧЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Метрополитен

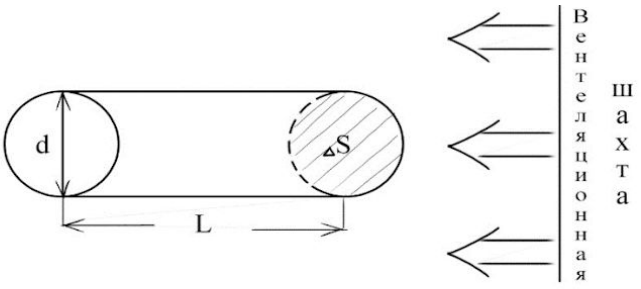
Наблюдения и теоретические исследования

Отработанный воздух из метро выходит периодическим потоком из вентиляционных киосков. Чтобы измерить оценочную энергию всего потока, я решила провести эксперимент с сегментом киоска.

Создание экспериментальной установки

От понимания природы потерянных источников энергии и я пришла к оценке того как должен проходить эксперимент и какую создать установку: изготовленную из ватмана трубу с шариком для пинг-понга, висящем внутри цилиндра на нитке.

Проведение эксперимента

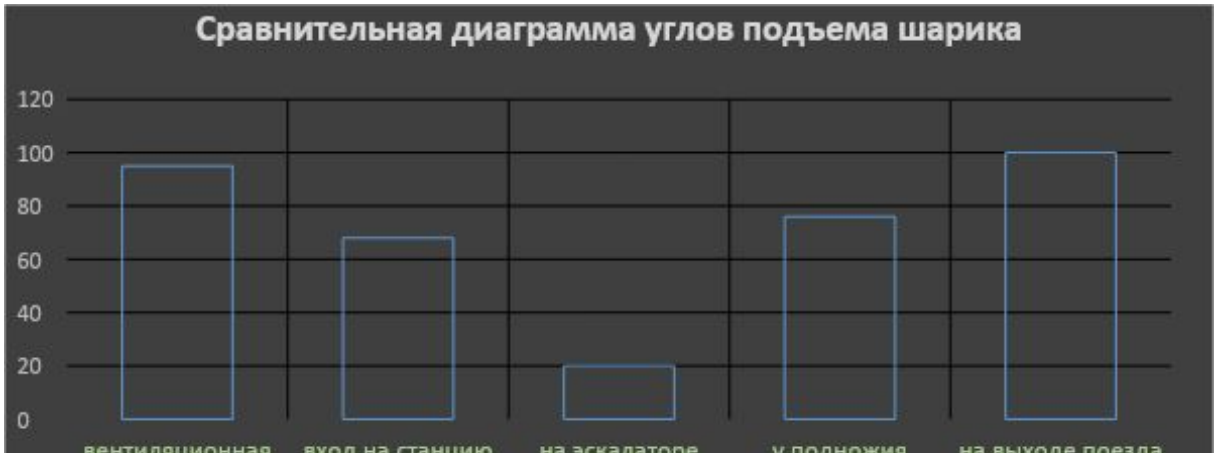


Экспериментальную установку разместить вплотную к вентиляционной шахте. В момент самого активного выхода потоков теплого воздуха, центр масс шарика отклонился оценочно на 60 градусов.

Похожий эксперимент проводился в других частях метро. Сравнительная диаграмма углов наклона будет предоставлена далее.

Вывод формул, теоретические расчёты, графики и диаграммы

Собранные экспериментальные данные прямых измерений углов:



Была произведена оценка энергии воздушных потоков вентиляционной шахты и от выхода поезда из тоннеля. Однако остальные результаты эксперимента не были приняты во внимание в силу того, что их природа не была установлена.

Применялся метод сравнительного анализа: выход на пропорцию объекта исследования к изготовленному прибору. Энергия потоков воздуха вентиляционной шахты и движущегося состава метрополитена, выходящего из тоннеля, оценивалась в пропорции к энергии воздушного потока, проходящего через изготовленную установку.

Оценка энергии потоков воздуха при выходе из вентиляционной шахты

$$\left.\begin{array}{l} W \rightarrow S \\ \Delta W \rightarrow \Delta S \end{array}\right| \Rightarrow \frac{W}{\Delta W} = \frac{S}{\Delta S} \Rightarrow W = \frac{\Delta W \cdot S}{\Delta S}$$

где W – энергия выхода воздуха из вентиляционной шахты

S – площадь одного сектора киоска

ΔW – энергия, выделяемая одним сектором киоска

ΔS – площадь сечения трубы изготовленного прибора

$S = N_{\text{сек}} \bullet S_{\text{сек}}$

$\Delta S = \frac{\pi d^2}{4}$

$cos\propto = \frac{l-h}{l} \Rightarrow h = l\,(1 - cos\propto)$

$$\left.\begin{array}{l} \text{З.С.Э.} \rightarrow W = const \\ W = E_k + E_p \\ E_p = mgh \\ E_k = \frac{m\vartheta^2}{2} \\ h = l(1 - cos\propto) \end{array}\right| \Rightarrow \Delta W = mgl(1 - cos\propto)$$

$$W = \frac{4mgl(1-cos\propto)N_{\text{сек}}s_{\text{сек}}}{\pi d^2},$$

где m – масса теннисного шарика

h - высота, на которую поднялся центр масс шарика

ϑ – скорость потоков воздуха, исходящих из вентиляционного киоска

l – длина нити

$\propto$ - угол, на который отклонился центр масс шарика

d – диаметр трубы изготовленного прибора

$N_{сек}$ – количество секторов

$S_{сек}$ – площадь сектора

α = 60°*(I эксперимент)*
α = 95°*(II эксперимент)*
= 6
= 20
d = 0,13м
м
$N_{шахт\ в\ Москве}$=484 шт [14]

Однако, вовремя оценки экспериментальных результатов относительная погрешность была равна **176%**, что довольно-таки неправдоподобно, поэтому опыт был проведен еще раз. В повторном опыте угол отклонения баллистического маятника был равен 95º.

W=20,28 Дж - энергия выхода потоков воздуха вентиляционной шахты станции метро Шаболовская, где проводился эксперимент.

$$W_{всего} = 484 \cdot 20{,}28\ Дж = 9\ 815{,}52\ Дж$$

9 815,52 Дж - энергия выхода потоков воздуха в один момент времени всех вентиляционных шахт Москвы.

Расчет погрешностей:

$$W = \frac{4mgl(1-cos\propto)N_{сек}s_{сек}}{\pi d^2}$$

g, $\frac{м}{с^2}$	*l, м*	α, °	π	d, м	Δ g, $\frac{м}{с^2}$	$\Delta_и$α, °	$\Delta_{отсч}$α, °	Δα, °	Δπ	$\Delta_и$d, м	$\Delta_{отсч}$d, м	Δ d, м
9,82	0,07	100	3,14	0,13	0,02	0,5	0,5	1	0,0016	1	0,5	1,5

$$E_W = \frac{\Delta W}{W} \Rightarrow \Delta W = W \cdot E_W$$

$$E_W = \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta\pi}{\pi} + \frac{\sin sin\ \alpha \cdot \Delta\alpha}{\alpha} + \frac{2\Delta d}{d}$$

$$\Delta g = \left|9{,}8\frac{м}{с^2} - 9{,}82\frac{м}{с^2}\right| = 0{,}02\frac{м}{с^2}$$ *(9,82 значение g для Москвы)*

$$\Delta l = \Delta_{и} l + \Delta_{отсч} l$$

$$\Delta l = 1 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ (линейка ученическая)}$$

$$\Delta\pi = |3,14 - 3,14159| = 0,00159 \approx 0,0016$$

$$\Delta\alpha = \Delta_{и}\alpha + \Delta_{отсч}\alpha$$

$$\Delta\alpha = 0,5° + 0,5° = 1°$$

$$\Delta d = \Delta_{и} d + \Delta_{отсч} d$$

$$\Delta d = 1 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ (линейка ученическая)}$$

$$E_W = \frac{0,02\frac{м}{с^2}}{9,82\frac{м}{с^2}} + \frac{0,0016}{3,14} + \frac{0,5 \cdot 10^{-3}м}{0,07м} + \frac{\sin sin\, 95°}{95°} + \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}м}{0,13м} = \approx 0,96$$

$$\Delta W = 0,96 \cdot 20,28Дж \approx 19,47Дж$$

Результат эксперимента:

$$W = W_{пр} \pm \Delta W$$

$$W = 20,28Дж \pm 19,47Дж$$

$$E_W = 0,96 \cdot 100\% = 96\%$$

Оценка энергии потоков воздуха при выезде поезда из тоннеля

По аналогии используется выведенная формула энергии, где W – энергия потока воздуха, вытесняемого из тоннеля поездом и $S_т$ – площадь тоннеля.

$$W = \frac{4mgl(1 - cos\propto)S_т}{\pi d^2}$$

$$S_т = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

, где D – диаметр тоннеля [13]

Тогда энергия воздушных потоков: $W = \frac{0,003кг \cdot 9,82\frac{м}{с^2} \cdot 0,07м(1 - cos100°) \bullet 225\ м^2}{0,0169м^2} \approx 32,23$ Дж

Всего 206 [15] станций метро в Москве.

Тогда $412 \cdot 32,23$ Дж$\approx 13\,276,96$ **Дж** - энергия потока воздуха, вытесняемого поездами из тоннелей на всех станциях *за один раз.*

Расчет погрешности:

$$W = \frac{mgl(1-cos\propto)D^2}{d^2}$$

g, $\frac{м}{с^2}$	*l, м*	α, °	d, м	Δ g, $\frac{м}{с^2}$	$\Delta_и l$, м	$\Delta_{отсч} l$, м	Δ *l, м*	$\Delta_и$α, °	$\Delta_{отсч}$α, °	Δα, °	$\Delta_и$d, м	$\Delta_{отсч}$d, м	Δ d, м
9,82	0,07	100	0,13	0,02	$1\cdot10^{-3}$	$0{,}5\cdot10^{-3}$	$1{,}5\cdot10^{-3}$	0,5	0,5	1	$1\cdot10^{-3}$	$0{,}5\cdot10^{-3}$	$1{,}5\cdot10^{-3}$

$$E_W = \frac{\Delta W}{W} \Rightarrow \Delta W = W\cdot E_W$$

$$E_W = \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\sin sin\ \alpha \cdot \Delta\alpha}{\alpha} + \frac{2\Delta d}{d}$$

$$\Delta g = \left|9,8\frac{м}{с^2} - 9,82\frac{м}{с^2}\right| = 0,02\frac{м}{с^2}$$ *(9,82 значение g для Москвы)*

$$\Delta l = \Delta_и l + \Delta_{отсч} l$$

$$\Delta l = 1\cdot10^{-3} + 0,5\cdot10^{-3} = 1,5\cdot10^{-3}$$ (линейка ученическая)

$$\Delta\alpha = 0,5° + 0,5° = 1°$$

$$\Delta d = \Delta_и d + \Delta_{отсч} d$$

$$\Delta d = 1\cdot10^{-3} + 0,5\cdot10^{-3} = 1,5\cdot10^{-3}$$ (линейка ученическая)

$$E_W = \frac{0{,}02\frac{м}{с^2}}{9{,}82\frac{м}{с^2}} + \frac{0{,}5\cdot10^{-3}м}{0{,}07м} + \frac{\sin sin\ 100°}{100°} + \frac{2\cdot1{,}5\cdot10^{-3}м}{0{,}13м} = 0,8856 \approx 0,89$$

$$\Delta W = 0,89\cdot32,23 \approx 28,69 Дж$$

Результат эксперимента:

$$W = W_{пр} \pm \Delta W$$

$$W = 43,96 Дж \pm 28,69 Дж$$

$$E_{1W} = 0,89\cdot100\% = 89\%$$

Механическая энергия пассажиров

Была произведена косвенная оценка энергии, источником которой является открытие двери пассажиром. Чтобы посчитать количество энергии, вырабатываемой пассажиропотоком в сутки, были произведены предварительные расчеты для одного пассажира.

где A – работа открытия двери,
F – сила толчка двери,
– путь двери,
N – количество пассажиров за определенный временной промежуток,
R – ширина двери.

$W = A$

$A = FS \cdot \cos cos\ \alpha$

$S = l_{двери}$

$360° \rightarrow 2\pi R$

$45° \rightarrow l_{двери}$

$W = \frac{F\pi R}{4}$

$W_t = \frac{F\pi R}{4} \cdot N$

$W = \frac{40Н \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}8м}{4} = 25,12Дж$ *(40Н показывает динамометр, когда человек выходит из метро, т.е. направление потока воздуха сонаправлено с движением пассажира)*

$W = \frac{70Н \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}8м}{4} = 43,96Дж$ *(70Н показывает динамометр, когда человек входит в метро, т.е. направление потока воздуха противоположно движению пассажира)*

$W_с = 25,12$ Дж·9 • 10^6 • сутки$^{-1}$ = 226 080 000 Дж·сутки$^{-1}$

$W_г = 25,12$ Дж·2 451 300 000 пассажиров • год$^{-1}$ = 61 576 656 000 Дж·год$^{-1}$

Расчет погрешности:

$$W = \frac{F\pi R}{4}$$

F_1, Н	F_2, Н	π	R, м	ΔF, Н	Δπ	ΔR, м
40	70	3,14	0,8	0,5	0,0016	$0{,}5 \cdot 10^{-3}$

$$E_W = \frac{\Delta W}{W} \Rightarrow \Delta W = W \cdot E_W$$

$$E_W = \frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta\pi}{\pi} + \frac{\Delta R}{R}$$

$$\Delta F = \Delta_{отсч} F$$

$$\Delta_{отсч} F = \frac{С}{2}$$

$$С_д = \frac{A-B}{n} \Rightarrow C_д = \frac{40H-30H}{10} = 1H$$

$$\Delta F = \Delta_{отсч} F = \frac{1H}{2} = 0,5H$$

$$\Delta\pi = |3,14 - 3,14159| = 0,00159 \approx 0,0016$$

$$\Delta R = \Delta_{\text{отсч}} R$$

$$C = \frac{2\text{см} - 1\text{см}}{10} = 0,1\text{см}$$

$$\Delta R = \frac{0,1\text{см}}{2} = 0,05\text{см} = 0,5 \cdot 10^{-3}\text{м}$$

$$E_{1W} = \frac{0,5\text{Н}}{70\text{Н}} + \frac{0,0016}{3,14} + \frac{0,5 \cdot 10^{-3}\text{м}}{0,8\text{м}} = 0,0083 \approx 0,01$$

$$E_{2W} = \frac{0,5\text{Н}}{40\text{Н}} + \frac{0,0016}{3,14} + \frac{0,5 \cdot 10^{-3}\text{м}}{0,8\text{м}} = 0,0136 \approx 0,014$$

$$\Delta W_1 = 0,01 \cdot 43,96\text{Дж} \approx 0,44\text{Дж}$$

$$\Delta W_2 = 0,014 \cdot 25,12\text{Дж} \approx 0,34\text{Дж}$$

Результат эксперимента: $W = W_{\text{пр}} \pm \Delta W$

$W_1 = 43,96\text{Дж} \pm 0,44\text{Дж}$ *и* $W_2 = 25,12\text{Дж} \pm 0,34\text{Дж}$

$E_{1W} = 0,01 \cdot 100\% = 1\%$ *и* $E_{2W} = 0,014 \cdot 100\% = 1,4\%$

Анализ полученных результатов и прогнозы

Прогнозы:

- Аккумуляция энергии и перенаправление в систему, для уменьшения затрат.
- Питание осветительных приборов.
- Уменьшение затрат на преодоление поездом сопротивления воздуха *увеличение КПД движущегося состава* увеличение пассажиропотока
- Перенаправление потоков воздуха уменьшение сквозняков здоровьесбережение и т.д.

В любом случае, найдется на что применить собранную энергию. Но как ее собрать?

Энергия ветра

В мире существуют десятки идей, многие из них уже применяются на практике. Например, Шарлотта Слингсби создала Moya Power – прозрачный, гибкий материал, собирающий энергию ветра благодаря пьезоэлектрическому эффекту. [18] Эти листы уже установлены не только в метро, но и на небоскребах. Идея довольно нехитрая, дешевая, что способствует ее быстрому распространению.

Если говорить о тех проектах, что остались пока на уровне концепции, стоит отметить разработку корейских дизайнеров – Wind Tunnel. Это довольно высокоэффективная система и я надеюсь, что в скором времени она начнет внедряться.

Механическая энергия пассажиров

Как уже было указано, в Японии используют турникеты с пьезоэлементами. Подходя к турникету, посетители наступают на пьезоэлементы, вмонтированные в пол, и таким образом передают энергию от давления своего тела.

Я также предлагаю использовать энергию толчка двери, что была мною измерена. Если присоединить тросы из эластомеров (которые так же обладают пьезоэлектрическим эффектом[22]) к двери с одной стороны, а с другой – к генератору переменного тока или электрофорной машине, а вращение обеспечить передаточными механизмами, то полученная энергия позволит экономить сотни тысяч рублей.

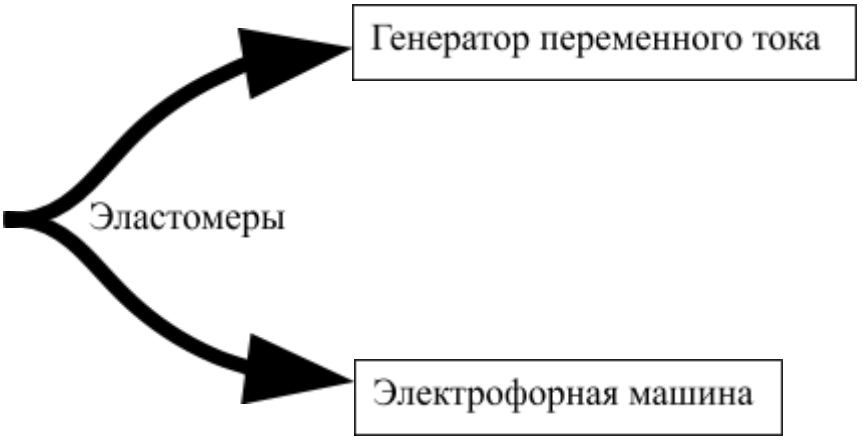


Схема сбора энергии пассажиропотока.

Солнечная энергия для мегаполиса

В ближайшем будущем планируется встреча с представителем Федерального государственного бюджетного учреждения «Центральное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» для обсуждения деталей сотрудничества – предоставления данных о солнечной активности в Москве.

Виды модулей и варианты их эксплуатирования

Тип	КПД	Преимущества	Недостатки
Monocrystalline Solar Panels (Mono-SI)	~20%	Высокий КПД, большой срок службы	Дорого
Polycrystalline Solar Panels (p-Si)	~15%	Низкая цена	Чувствительны к высоким температурам, низкий срок службы
Thin-Film: Amorphous Silicon Solar Panels (A-SI)	~7-10 %	Относительно низкая стоимость, легко воспроизвести, гибкая	Короче гарантия и срок эксплуатации
Concentrated PV Cell (CVP)	~41%	Очень эффективны	Необходима гелиосистема, охладитель (чтобы достичь такой высокой производительности)

Источник: [10]

Солнечная активность в Москве на основе данных Global Solar Atlas [12]

Вывод формул, теоретические расчёты энергии

$$\eta = \frac{P_п}{P} \cdot 100\%$$

$$P = I_{изл} \cdot S$$

$$S = S_{панели} \bullet N_{панелей}$$

$$S_{панели} = S_{сектора} \bullet N_{сектора}$$

Где η – КПД солнечной батареи,

$P_п$ – мощность, вырабатываемая солнечными батареями, которые размещены на крышах жилых зданий города Москвы,

P – мощность солнечного излучения, попадающего на солнечную панель,

$I_{изл}$ – global horizontal irradiation для города Москвы,

S – полезная площадь крыши ,

$S_{панели}$ – площадь солнечной панели,

$N_{панелей}$ – количество панелей,

$S_{сектора}$ – площадь элементов, из которых составлена панель,

$N_{сектора}$ – количество секторов в одной солнечной панели.

На основе выведенной формулы, данных общей площади застройки, предоставленных информационным порталом РБК[11], атласом солнечного излучения[12], я рассчитала количество полезной мощности в один солнечный день для всего города.

Тип солнечной батареи: monocrystalline Solar Panels (Mono-SI).

$$P_п = \frac{20\% \cdot 2.942 \frac{кВт \bullet ч}{м^2 \bullet день} \bullet 233\,854\,496\ м^2}{100\%} = 137\,600\,000\ кВт \bullet ч/день$$

$$P_п = \frac{20\% \cdot 1074 \frac{кВт \bullet ч}{м^2 \bullet год} \bullet 233\,854\,496\ м^2}{100\%} = 50\,231\,946\,000\ кВт \bullet ч/год$$

Анализ полученных данных и прогнозы

Прогнозы:

- Полная автономность здания
- Аккумуляция энергии и перенаправление в систему, для уменьшения затрат на электрообеспечение
- Улучшение экологической обстановки

и т.д.

Выводы

Возможности для развития ограничены только нашей фантазией. Тренажеры, вырабатывающие энергию, умные тротуары и магистрали, струнный транспорт... Физика будущего обещает сделать нашу жизнь увлекательной. Я считаю важным начинать движение в сторону «умного города», где каждый, даже самый малый механизм, работает на пользу человечества. Умный город, в моем понимании, это современный мегаполис, который развивается и функционирует в первую очередь с заботой о будущем планеты, используя доступные человечеству технологии.

Потоки воздуха уже используются в некоторых местах мира и частично покрывают немалые затраты на обслуживание транспорта. Расчеты показали, сколько энергии мог бы получить город. Мне предстоит уточнить данные для внесения точности в расчеты, но уже очевидно, что найденные мною источники энергии стоят внимания со стороны инженеров.

В дальнейшем планируется сотрудничество с Московским архитектурным институтом для более точного исследования площади крыш города.

Благодарности

- Научно-технической библиотеке метрополитена за консультации и предоставленную литературу.
- Лудковой Л.Н., учителю информатики, за помощь в создании 3D модели опыта.
- Федеральному государственному бюджетному учреждению «Центральное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» за сотрудничество.

Список использованной литературы:

1. Поляков А.Х. Проектирование вентиляционных тоннелей: книга для инженеров / Научный редактор - В.С. Гусев – Москва: Изд-во Литературы по Строительству, 1971. – 147 с.
2. http://tass.ru/info/1324314
3. А.С. Бакулин, К.И. Кудринская, П.А. Куп, Е.Т. Мосин, В.А. Прокин, Е.А Федоров. Сооружения, устройства и подвижной состав метрополитена: учебник для подготовки рабочих на производстве / А.С Бакулин – Москва: изд-во «Транспорт», 1979. – 139 с.
4. А.С. Спарбер, И.А. Малыгин, В.Н. Гаранин, Г.И. Логинов, Д.А. Кабычкин, С.Н. Назаренко, К.М. Питлер, И.Ю. Вербин, А.Е. Сыромятников. Общий курс метрополитена / Д.В. Пегов, П.К. Ковалев – Москва: НТБ метрополитена, 2016. – 414 с.
5. О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов, Э.Е. Эвенчик, С.Я. Шамаш, А.А. Пинский, С.И. Кабардина, Ю.И. Дик, Г.Г. Никифоров, Н.И. Шефер. Учебник для 10 класса школ и классов с углубленным изучением физики / А.А. Пинский – Москва: «Просвещение», 2001. – 415 с.
6. https://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/Statistics%20Brief%20-%20World%20metro%20figures%202018V4_WEB.pdf
7. http://ekobatarei.ru/energia/skhema-solnechnoy-elektrostantsii-v-promyshlennykh-masshtabakh
8. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B1%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B5%D1%8F
9. https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels
10. https://realty.rbc.ru/news/577d26eb9a7947a78ce92830
11. https://globalsolaratlas.info

12. http://metroworld.ruz.net/moscow/faq.htm
13. http://mosmetro.ru/press/digits/?type=m
14. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BD
15. https://profile.ru/economics/item/107137-solntse-vmesto-nefti
16. И.П. Кутко, Т.С. Фещенко. Современное обучение физике: как обеспечить новые образовательные результаты школьников (готовимся к итоговой аттестации). Методическое пособие для учителя. Москва: УЦ «Перспектива», 2014. – 84 с.
17. С.И. Кабардина, Н.И. Шефер. Измерения физических величин. Элективный курс: Методическое пособие / С.И. Кабардина, Н.И. Шефер. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 136 с., ил.
18. https://www.moyapower.com/
19. https://www.jreast.co.jp/e/environment/pdf_2018/p086-095.pdf
20. https://ria.ru/20170823/1500959702.html
21. https://www.designboom.com/project/wind-tunnel/
22. https://www.pravda.ru/eureka/1117373-elastomer/