



## Using solar energy by a smart window for the needs of urban residents

Leonid Mikhailov, Svetlana Mikhailova, Guzal Ismailova, Raiymbek Yersaiyn, Nursultan Kenes, Oleg Lavrishev, Valery Nikulin

*IETP, al-Farabi Kazakh National University, 71 al-Farabi avn. 050040 Almaty, Kazakhstan*

---

### Abstract

Исследование посвящено разработке устройства работающего на солнечных батареях с функциями пылеулавливания, с возможностью регулирования светового и теплового, а так же звукового потока в помещении. Целью данной разработки является повышение рентабельности устройства и его потребительской привлекательности, использующего солнечную энергию в городских условиях. Высота расположения солнечной панели и защитной пластины относительно окна регулируется прописанными сценариями на контроллере Arduino. В работе были подобраны технические решения монтирования конструкции устройства, передвижения подвижных модулей и разработан вариант использования дополнительного зелёного блока из рулонного газона. Моделирование технической части устройства было выполнено в программе AutoCAD Mechanical. Так же была сконструирована действующая модель устройства, выполненный в масштабе 1:5 для тестирования реализованных функций. Данное устройство может быть использовано для улучшения экологии городов, расположенных между 35° и 55° широтами.

*Keywords: smart window, green buildings, building facade, solar energy, sustainable development;*

### Introduction

В Казахстане, согласно общемировым целям устойчивого развития [1], взят курс на увеличение доли зеленой энергетики в рамках улучшения экологической обстановки [2]. В городах, где особенно явно чувствуется ухудшение экологии, использование возобновляемых источников энергии в жилых и офисных помещениях может привести к сокращению выбросов парниковых газов [3] и улучшению окружающей среды. Традиционно солнечные панели устанавливают на крышах зданий. Однако, в крупных городах где расположены в основном многоэтажные здания более рационально использовать фасад здания нежели крышу.

Чтобы оценить наличие потребительского спроса на использование технологии модернизации фасадов были проведены опросы целесообразности экологического строительства [4, 5] и рассчитана примерная стоимость содержания зелёных зданий [6, 7].

В разных странах в настоящее время разрабатываются различные виды прототипов использования площадей фасадов для разных широт [8]. Например, в [9] был разработан прототип многофункционального smart-окна, использующего комбинацию фотоэлектрических жалюзи (PV) с системой вентиляции здания, а в [10] тепловую энергию выделяемую солнечными панелями использовали для отопления и охлаждения помещений. В то же время в Египте было проведено включение солнечных фотоэлектрических систем в

фасады жилой виллы [11]. В [12] и [13] были смоделированы и спроектированы системы для контроля пропускания излучения электрохромными окнами

. Одновременно с использованием солнечной энергии, есть прототипы расположения вертикальных садов на фасадах зданий [14] в качестве альтернативного испарительного охлаждающего устройства для жаркого климата. Безусловно, модернизация фасадов жилых зданий и их обслуживание ляжет на плечи потребителей, однако согласно [15] в Израиле потребители, при выборе между традиционным зданием и «зеленым зданием» выбрали последнее и были готовы платить за него на 30% больше, чем за традиционное.

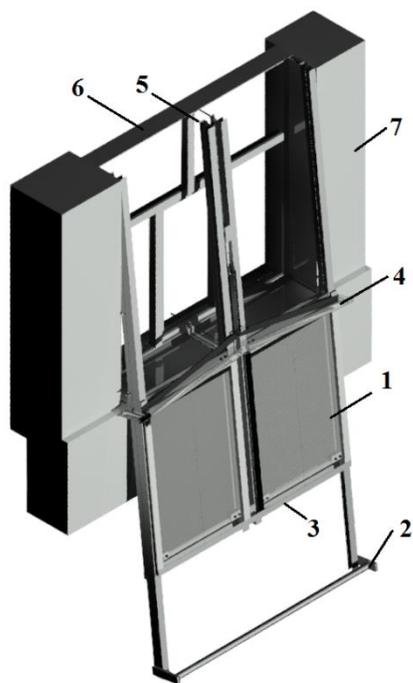
Однако, несмотря на различные варианты технических решений по модернизации фасадов, в [16] жители и работники зданий с «зелеными фасадами» были недовольны качеством окружающей среды внутри помещения. В частности, люди отмечали неэффективность блокировки естественного освещения, что влияло на работоспособность и производительность.

В данной работе предлагается использовать солнечные панели, закреплённые на фасаде здания для регулирования светового и звукового потока в помещение. Актуальность проектирования связана с общемировыми целями устойчивого развития [1], а именно: Цель 11 - направленная на улучшение экологии городов, Цель 7 - пропаганда использования чистой энергии и Цель 13 - меры по борьбе с изменением климата.

## Results & Discussion

Разрабатываемое устройство имеет модульный принцип для упрощения эксплуатации и состоит из основного силового модуля, 2 солнечных панелей площадью  $0.85 \text{ м}^2$  с номинальной мощностью 125 Вт, прозрачной диэлектрической пластины на которой наводится заряжающий потенциал, мобильного блока с растительностью, промывочного блока и блока автоматизации, который подключён в общую электрическую схему устройства.

Одними из особенностей разрабатываемого устройства, 3D макет которого представлен на рисунке 1, является простота эксплуатации – для монтирования всех модулей не нужно заказывать специальную технику.



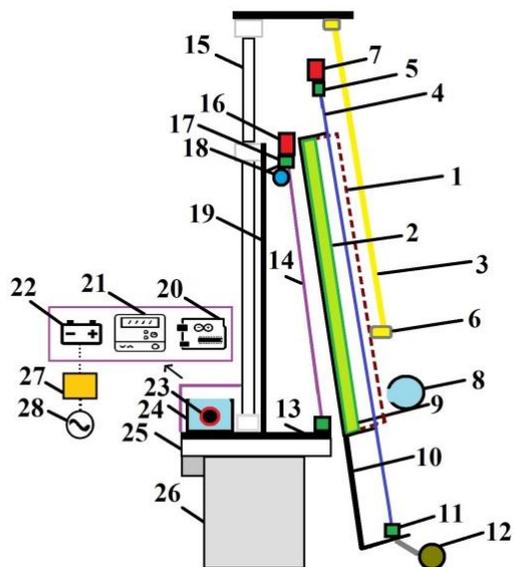
- 1 – солнечная панель;
- 2 – высоковольтный заряжающий электрод;
- 3 – крепление ПММА пластины;
- 4 – промывочный модуль с дворником;
- 5 – уголки по которым движутся солнечные панели;
- 6 – оконная рама;
- 7 – наружный фасад здания

Fig. 1. 3D макет разрабатываемого устройства, выполненный в программе AutoCAD Mechanical

Как видно из рисунка 1, крепление устройства осуществляется через окно на фасаде жилого или офисного здания. Панели могут двигаться вверх и вниз по направляющей шпильке, расположенной под углом 5-10° (зависит от глубины наружного оконного проёма) по отношению к фасаду здания. Движение панелей и защитной пластинки ограничено снизу размерами солнечной панели, а сверху габаритами окна. Наличие подвижной пластины из оргстекла (Plexiglas, 3 мм), которое защищает лицевую поверхность солнечной панели от загрязнения в пассивном режиме, позволяет при поднятии по метрической винтовой передаче выполненной на крепёжной шпильке заслонять звуковой поток и избыточное естественное освещение в помещение с улицы. Дополнительной функцией защитной пластины является улавливание пылевых частиц из внешней среды [17], которые удерживаются на поверхности панели наведённым потенциалом с внешнего электрода и периодически прочищаются дворником. Помимо непосредственной очистки лицевой поверхности от пыли дворник убирает электростатический потенциал с поверхности панели, позволяя осуществлять цикл наведения заряда на пылинки и их последующий сбор заново.

Система управления устройством, по сути smart-окном, выполняется на базе контроллера Arduino с использованием произвольной логики (сценарии) на различные события в помещении и вне его. Эти события включают в себя: а) смена циклов дня и ночи, б) наличие и отсутствие допустимого уровня шума [18] в) наличие и отсутствие чрезмерного естественного освещения [19] д) наличие и отсутствие осадков в летний/зимний период, е) наличие и отсутствие ветра. В зависимости от выбранного сценария работы меняется: высота поднятия солнечных панелей и защитной пластины; величина подаваемого заряжающего потенциала на пластину; частота очистки лицевой поверхности пластины дворником; блокировка функций в случае чрезвычайных ситуаций.

Помимо перечисленных функций и модулей разрабатывается вариант добавления модуля вертикального озеленения (Рисунок 2).



1 – солнечная батарея; 2 – зелёный блок; 3 - защитная пластина из ПММА; 4 – шпилька, по которой движется защитная панель; 5, 11, 17 - подшипники скольжения; 6 – резинка для очистки лицевой поверхности солнечной панели; 7, 16 – мотор-редуктор; 8 – промывочный дворник; 9 – крепление промывочного дворника; 10 - крепёж солнечной панели и зелёного блока (уголки); 12 – заряжающий электрод; 13 – крепление устройства через подоконник; 14 – шпилька для движения солнечных панелей и зелёного блока; 15 – окно; 18 – блок-ключ ; 19 – вертикальное крепление устройство; 20 – контроллер Arduino; 21 – контроллер; 22 – аккумулятор; 23 – насос; 24 – контейнер с водой; 25 – подоконник; 26 – стена; 27 – блок питания; 28 – электросеть;

Fig. 2. Блок схема варианта устройства с зелёным блоком

Согласно рисунку 2, для выбранного окна предлагается использование 2х солнечных панелей, одну из двух панелей или рядом с панелями можно заменить на блок из растений (в модели планируется использовать рулонный газон), который будет осуществлять как декоративные функции, так и повышать влажность воздуха, улавливать пыль и углекислый газ.

В настоящее время изготовлена действующая модель разрабатываемого устройства, уменьшенная в масштабе 1:5, а так же изготавливается макет устройства в натуральную величину.

Поскольку устройство будет испытывать достаточно жёсткие механические нагрузки от силы тяжести и ветра, каркас выполняется из прочного, устойчивого к коррозии материала – дюралюминия марки АД 31. Как показано на рисунке 2, сквозь оконную раму протянуты шпильки Ф10, хомутами прижатые к стенам здания, потолку и подоконнику. Каркас рассчитывается на массу 200 кг. К шпилькам прикрепляются

четыре несущих уголка, по которым перемещаются солнечная и растительная панели. За 5-10 минут (зависит от габаритов устройства) панель переместиться из одного крайнего положения в другое, поглотив из аккумулятора не более 2 Вт·час электроэнергии на преодоление сил трения в шпильке с метрической резьбой, трения в редукторе и силы тяжести панелей.

Использование системы предназначено для городов, расположенных в средних широтах (между 35° и 55° широтами, т.е. там, где необходимо запастись теплом), таких как Алматы, Пекин, Сеул и т.д., где проблемы, связанные с экологией стоят особенно остро.

## Conclusion

В работе была обоснована возможность регулирования чрезмерного светового и звукового потоков в помещении и из него с возможностью самоочищения и пылеулавливания через устройство smart-окно в бытовой оконной системе с использованием солнечной энергии. В работе были подобраны технические решения монтирования устройства, мобильности блоков и разработан вариант использования дополнительного зелёного блока из рулонного газона. Моделирование технической части устройства было выполнено в программе AutoCAD Mechanical. Так же был сконструирован макет устройства, выполненный в масштабе 1:5 для тестирования реализации разрабатываемых потребительских функций. Данное устройство может быть использовано для улучшения экологии городов умеренных широт.

## Acknowledgements

This research was supported by the grant AP05132897 of the Ministry of Education and Science of Kazakhstan Republic

## References

- [1] United Nations, Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development, seventeen ses., New York, 2015
- [2] K. Baizakova and M. Bolatkhana and G. Baikushikova, Int J Env Sci Ed. 11 (2016) 11569-11583
- [3] K. Panopoulos and A. M. Papadopoulos, Advanced in building Energy Research. 5 (2015) 26-36
- [4] V. Venkataraman and J. C. P. Cheng, J. Archit. Eng. 24 (2018) 04018025-1-04018025-10
- [5] M.A. Berawi et al., Journal of Design and Built Environment 18 (2018) 37-45
- [6] L. Lung, M. Shaurette, Revista Ingeniería de Construcción. 33 (2018) 183-192
- [7] Sh. Yin, B. Li and Z. Xing, Science of the Total Environment. 677 (2019) 19–33
- [8] L. Mikhailov, S. Mikhailova, G. Ismailova et al. Mediterranean Green Buildings & Renewable Energy (2017) 609-617
- [9] W. Jung et al., Building and Environment. 149 (2019) 366-378
- [10] A. Riaz et al., Building Serv. Eng. Res. Technol. (2019) 1-22
- [11] N. M. Farrag1 and Sh. Omran, J. Eng. Appl. Sci. 12 (2017) 5991-6012
- [12] J. Dussault, L. Gosselin, Energy and Buildings 153 (2017) 50-62
- [13] D. Papathanasopoulos, G. Leftheriotis and E. Mitronikas, Journal of Building Engineering 12 (2017), 248-258
- [14] M. Davis, A. L. Espinosa, F. R. Ramirez, Smart and Sustainable Built Environment, 8 (2019) 243-252
- [15] Sh. Ofek, S. Akron, B. A. Portnov, Sustainable Cities and Society. 40 (2018) 165-173
- [16] C. Aigbavbo and W. D. Thwala, Journal of Green Building. 14 (2019) 131-148
- [17] L.V. Mikhailov et al., Rec. Contr. Phys. 67 (2018) 100-107
- [18] GOST 12.1.036-81 SSBT. Noise. Permissible levels in residential and public buildings
- [19] SNiP RK 2.04-05-2002 Natural and artificial lightning