

UDC 514.18

ANALYSIS OF OVERHEATING ZONES FROM REFLECTED SOLAR ENERGY

Kozak Y., PhD (Engin.),

kozak.iuv@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-8723-3779

Andropova O., PhD (Engin.),

andropova.ov@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-4500-6225

Kyiv National University of Construction and Architecture (Ukraine)

Modern architecture uses complicated forms of facades, including parametric architecture, dynamic facades. Implementing analytical surfaces gives many advantages in construction of surface form, calculation of carrying capacity, prediction of properties of surfaces in different spheres. Surfaces with mirror properties, such as glass with various coatings, as well as polished metal, are increasingly being used as finishing materials for facades. When used as a facade, concave surfaces of zero, positive, or negative Gaussian curvature result in self-intersections of reflected ray surfaces, their coincidences, and concentration, which can lead to energy imbalance. The concentration of energy in certain places must be predicted in order to be able to build a defense against this concentration.

In construction physics, it is important to have a possibility to estimate reflective properties as for sound as light and sun. Such analyze can give not only comfort life around the building but also can prevent serious damage for people and their property. There are known cases of melting cars and burning hair of city dwellers and hotels due to the concentration of solar energy when reflected from the surface of the facades.

The article analyzes the search for overheating zones of solar energy reflected from the surfaces of building facades. Areas of reflected solar energy, according to construction experience, can cause overheating, damage and fire. Due to the construction of analytical surfaces of reflected rays, there are zones of concentration of reflected sunlight as a double line of self-intersection of reflected surfaces. From the energy point of view, it is possible to calculate the amount of reflected thermal energy. Overheating protection is selected according to geometric and analytical calculations.

Keywords: insolation, surfaces of reflected rays, reflective surface, overheating.

Statement of problem. From the experience of using complex forms of facades in modern architecture, architects face the problem of overheating of surrounding objects, houses and natural objects, melting of cars and the risk of fires. Among the well-known cases of overheating are the 160m skyscraper Walkie-Talkie of architect Raphael Vinoli (Fig. 1) in Fenchurch Street in London, 20 in the shape of a parallelepiped with a concave mirrored façade, which caused a car melting in 2003, cracked tiles on the sidewalk and charred paint on the facade of the opposite building, as a result, the surface of the facade was tinted, reducing its reflective properties. The same problem befell the hotel complex of the same architect called Vrada in Los Angeles for 1.5 thousand rooms, 176 m high, which opened in 2009. The concave shape of the façade like a lens concentrated sunlight on the hotel pool, hotel users received melted bags, plastic utensils and burned hair. The lens effect has been called the "death ray". The well-known Walt Disney Concert Hall in Los Angeles, which opens in 2003, was designed with large concaved surfaces. Most of the surfaces were matte, but polished parts focused the rays on the opposite buildings, the cars passing by and melted the asphalt panels near the building. Polished facades had to be matte.

Recent research and publication analysis. Publication [1,2,3] provide theoretical and practical data for the use of geometric constructions of the surfaces of reflected rays, theory and practice of insolation calculations. The encyclopedia [4] shows the study of analytical surfaces, their analytical description and visualization. [4] offers an analytical construction of the reflections of sunlight. Publication [0] provides an analytical description of the construction of the surface of reflected rays.



Fig.1. *a* - Hotel Walkie-Talkie in London, *b* – Hotel Vrada in Los-Angeles, *c* - Walt Disney Concert Hall in Los Angeles

Based on the above examples, it is necessary to predict the reflections and their consequences at the design stage to prevent the huge cost of correcting defects after construction.

Setting article objectives. Construction of zones of concentration of sunlight to prevent defects of the facades shapes, which can cause overheating zones from

the reflection of sunlight.

Main part. The architecture of modern facades involves the formation of complex shapes, the use of glass and metal materials. Complex shapes consist of concave surfaces, which cause the concentrated reflections in certain areas. Glass and metal materials can have mirror properties due to polished glossy surfaces. Depending on the material, its texture, transparency and color, the reflection ability of the light and heat range change. The model of reflection from such surfaces can be considered as ray model, that is, from the congruence of reflected rays the surface of reflected rays is allocated by immersion of a line on a reflecting surface of a facade. The surface of the reflected rays from the concave surfaces has self-intersections, which are the geometric location of the double points where the reflected solar energy is concentrated. For a reflective surface of zero Gaussian curvature, the self-cross section may consist of two sunbeams, for a positive Gaussian curvature of four in general cases, respectively, increases the energy flow to a certain area. When using surfaces with parabolic generatrices in special cases, all reflections from the parabola may intersect at one point. The falling sun rays have their infinitely remote source, so they are parallel. Analytically, it can be set by the guide plane to which they are normal. The direction vector of this plane is a vector of sunlight. This is the vector $\{J; F; G\}$. The solar ray has an equation:

$$\begin{aligned}x_s &= x_a + Jt, \\y_s &= y_a + Ft, \\z_s &= z_a + Gt.\end{aligned}\tag{1}$$

where x_a, y_a, z_a - coordinates of the reflective point A on the facade of the building. By changing the coordinates of point A to an elliptical (or circular) generatrix, we obtain the equation of the cylinder of incident rays:

$$\begin{aligned}x &= x_s = a \cos u + Jt, \\y &= y_s = b \sin u + Ft, \\z &= z_s = c + Gt.\end{aligned}\tag{2}$$

The construction of the surface of the reflected rays can be obtained by the algorithm specified in the articles [4,6,7]. According to the obtained equation of the surface of the reflected rays, the surfaces shown in (Fig.2) are visualized.

(Fig. 2) shows the reflection from the elliptical generatrix of facade. Given the infinitely remote source, it is obvious that for the cylindrical surface of the facade the set of reflected surfaces from elliptical intersections with the horizontal plane will consist of the same surfaces, for the conical generatrices of the scaled ones.

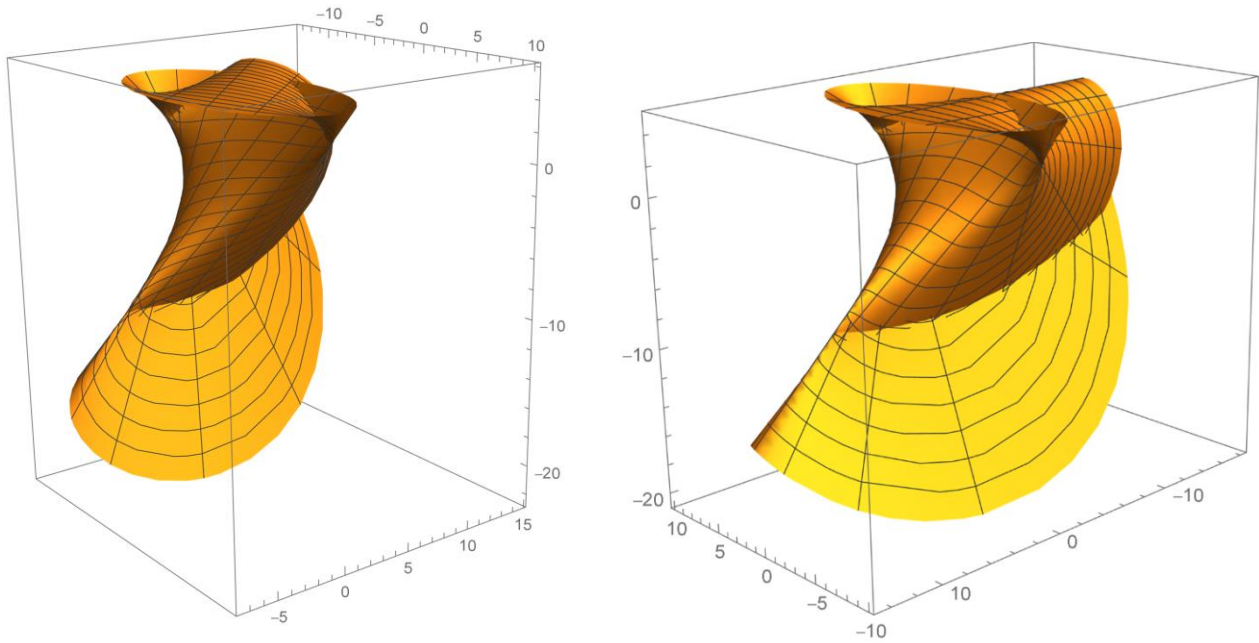


Fig.2. Examples of visualization of the surfaces of reflected rays from infinitely remote source and a conical or cylindrical surface.

(Fig. 3) shows the intersection of the surface of the sun's rays reflected from the cylindrical surface of the façade with the ground plane.

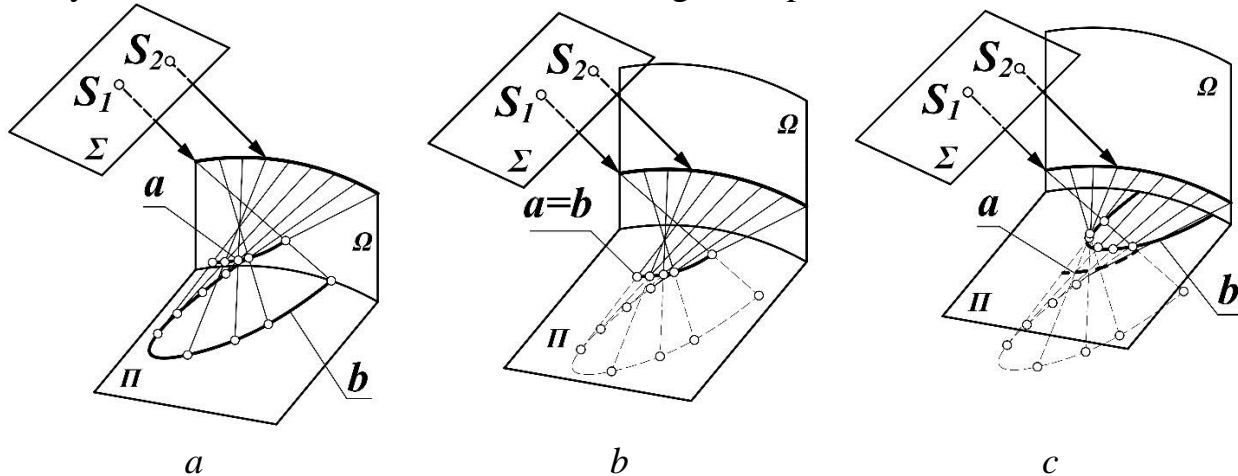


Fig.3. Intersection of the surface of the sun's rays reflected from the cylindrical facade with the earth's surface; a – reflection from the upper line of the façade, b – reflection from the middle line of the façade, c – reflection from the bottom line of the façade; where a – double line of self-intersection of the surface of reflected rays, b – the line of intersection of the surface of the reflected sunlight with the earth's surface, Σ – infinitely remote source, Ω – façade plane, Π – surface of earth.

It is known that according to extraatmospheric measurements, the solar

constant is 1367 W / m^2 , the total power of solar radiation energy that passes through a unit area oriented perpendicular to the current at a distance of one astronomical unit from the Sun in a vacuum. Due to the absorption of the Earth's atmosphere, the maximum flow of solar radiation at sea level is 1020 W / m^2 . In the middle latitudes during the day the flow reaches 800 W/m^2 , in the south of Ukraine more than 1000 W / m^2 , in winter it decreases to 250 W/m^2 . Heating the body with solar energy depends on many factors: the intensity of solar radiation, cloudy skies, heat loss from convection and radiation, body color and texture, infrared surface albedo, the presence of wind, the angle of incidence of solar energy. In a place open to the sun, the black car heats up to 82°C , asphalt to 60°C . In the presence of rays reflected from the facades, the speed and temperature of heating increases. Reflection from the glass facade, depending on the type of glass and the angle of incidence of the sun's rays, can be absorbed by glass by 50-30%. For the most adverse conditions, the reflected energy from a square meter of glass facade will give an additional 700 W / m^2 of thermal energy. At least three beams reflected from a cylindrical or conical façade to a certain point, bringing the energy to 3.1 kW / m^2 . In some cases, when using a parabolic shape or some types of conical, the energy is multiplied. For example, the heat capacity of water $c = 1,163 \text{ W}\cdot\text{g/kg}\cdot\text{K}$, 1 liter of water is heated to 1°C at 1.16 W per hour. With the help of 3.1 kW capacity the water volume $1 \times 1 \times 0.5 \text{ m}$ is heated from 20°C to 60°C in 8 hours without taking into account losses from convection.

Conclusions. The urgency of solving the problems of overheating from the reflections of solar energy from the facades of buildings, which can create lens effect from concave surfaces, is considered in the article. Geometric forming of facades requires surface analysis for the presence of defects in the concentration of solar energy fluxes to prevent overheating zones.

Literature

1. Подгорный А.Л. Поверхности отражённых лучей. *Прикладная геометрия и инженерная графика*. Вып. 20. К.; Будівельник, 1975. С.13 -16.
2. Підгорний О. Л. Геометричне моделювання надходження сонячної радіації на різні поверхні. *Прикл. геометрія та інж. графіка*. К.: КІБІ, 1993. Вип. 54. С. 10-12.
3. Сергейчук О.В. Геометричне моделювання надходження сонячної радіації при довільній хмарності неба. *Прикл. геометрія та інж. графіка: міжвід. наук.-техн. зб.* К. : КНУБА, 2007. Вип. 77. С. 115-119.
4. Кривошاپко С.Н., Иванов В.Н. Энциклопедия аналитических поверхностей. М., Книжный дом «Либроком», 2009. 556 с.
5. Андропова О.В. Моделювання потоку сонячних променів, відбитих від фасадів. *Енергоінтеграція – 2018: робоча програма та тези доповідей*

- восьмої науково-практичної конференції*. Київ: КНУБА, 2018. С. 42–43.
6. Андропова О.В. Моделювання поверхні, відбитих сонячних променів від фасадів. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*: науково-технічний збірник. Київ: КНУБА, 2018. Issue № 11. Р. 47–52. ISSN: 2299-8535. DOI: <https://doi.org/10.32347/2310-0516.2018.11>.
7. Козак Ю.В. Дослідження поверхонь нормалей як засіб систематизації поверхонь відбиття. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. Вип.5. Київ.:КНУБА. 2013.С.66-69.

АНАЛІЗ ЗОН ПЕРЕГРІВУ ВІД НАДХОДЖЕННЯ ВІДБИТОЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Козак Ю.В., Андропова О.В.

Сучасна архітектура використовує складні форми фасадів, зокрема параметричну архітектуру, динамічні фасади. Використання аналітичних поверхонь дає багато переваг при побудові форми поверхні, розрахунку несучої здатності, прогнозуванні властивостей поверхонь у різних сферах.

Поверхні із дзеркальними властивостями, такі як скло з різними покриттями, а також полірований метал, все частіше використовуються як оздоблювальні матеріали для фасадів. При використанні фасаду увігнутих поверхонь нульової, позитивної або негативної гаусової кривини виникають самоперетинання поверхонь відбитих променів, їх збіги і концентрація, що може призвести до енергетичного дисбалансу. Концентрацію енергії у певних місцях потрібно передбачати, щоб мати можливість побудувати захист від цієї концентрації.

У будівельній фізиці важливо мати можливість оцінювати відбивні властивості звуку, так і світла і сонця. Такий аналіз може забезпечити не лише комфортне життя навколо будівлі, але й запобігти серйозним збиткам людям та їх майну. Відомі випадки плавлення автомобілів та спалювання волосся городян та готелів через концентрацію сонячної енергії при відображенні від поверхні фасадів.

В статті аналізується пошук зон перегріву від надходження відбитої сонячної енергії від поверхонь фасадів будівель. Зони перегріву від відбитої сонячної енергії, згідно досвіду будівництва, можуть спричинити перегрів, пошкодження та пожежі. Завдяки побудові аналітичних поверхонь відбитих променів, знаходяться зони концентрації відбитих сонячних променів як подвійна лінії самоперетинів поверхонь відбитих променів. З енергетичної точки зору можна підрахувати кількість відбитої теплової енергії. Засоби захисту від перегріву обираються згідно геометричним та аналітичним розрахункам.

Ключові слова: інсоляція, поверхні відбитих променів, відбиваюча поверхня, перегрів.

АНАЛИЗ ЗОН ПЕРЕГРЕВА ОТ ПОСТУПЛЕНИЯ ОТРАЖЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Козак Ю.В., Андропова О.В.

Современная архитектура использует сложные формы фасадов, в том числе параметрическую архитектуру, динамические фасады. Внедрение аналитических поверхностей дает много преимуществ при построении формы поверхности, расчете несущей способности, прогнозировании свойств поверхностей в различных сферах.

Поверхности с зеркальными свойствами, такие как стекло с различными покрытиями, а также полированный металл, все чаще используются в качестве отделочных материалов для фасадов. При использовании в качестве фасада вогнутых поверхностей нулевой, положительной или отрицательной гауссовой кривизны возникают самопересечения поверхностей отраженных лучей, их совпадения и концентрация, что может привести к энергетическому дисбалансу. Концентрацию энергии в определенных местах нужно предугадывать, чтобы иметь возможность выстроить защиту от этой концентрации.

В строительной физике важно иметь возможность оценивать отражательные свойства как звука, так и света и солнца. Такой анализ может обеспечить не только комфортную жизнь вокруг здания, но и предотвратить серьезный ущерб людям и их имуществу. Известны случаи плавления автомобилей и сжигания волос горожан и гостиниц из-за концентрации солнечной энергии при отражении от поверхности фасадов.

В статье анализируется поиск зон перегрева солнечной энергии, отраженной от поверхностей фасадов зданий. Участки отраженной солнечной энергии, как показывает опыт строительства, могут стать причиной перегрева, повреждения и возгорания. Благодаря построению аналитических поверхностей отраженных лучей возникают зоны концентрации отраженных солнечных лучей в виде двойной линии самопересечения отраженных поверхностей. С энергетической точки зрения можно рассчитать количество отраженной тепловой энергии. Защита от перегрева подбирается по геометрическим и аналитическим расчетам.

Ключевые слова: инсоляция, поверхности отраженных лучей, отражающая поверхность, перегрев.

References

1. Podgorny, O. (1975) Reflected ray surfaces, *Applied geometry, engineering graphics*, Kyiv, 20, 13-16. [in English]
2. Podgorny, O. (1993) Geometric modeling of solar radiation on different surfaces, *Applied geometry, engineering graphics*, Kyiv, 54, 10-12. [in English]
3. Sergeychuk, O. (2007) Geometric modeling of solar radiation inflow at arbitrary cloud cover, *Applied geometry, engineering graphics*, KNUBA, Kyiv, 77, 115-119. [in English]
4. Krivoshapko, S., and Ivanov, V. (2015) *Encyclopedia of Analytical Surfaces*, Springer International Publishing Switzerland, 752. [in English]
5. Andropova, O. (2018) Simulation of the flow of sunlight reflected from the facades, *Energy integration. Program and abstracts of the reports of the eighth scientific-practical conference*, Kyiv, 42-43. [in English]
6. Andropova, O. (2018) Modeling of the surface reflected by sunlight from facades *Energy efficiency in construction and architecture*. Kyiv: KNUBA, 11, 47–52. ISSN: 2299- 8535. DOI: <https://doi.org/10.32347/2310-0516.2018.11>. [in English]
7. Kozak Y. (2013) Investigation of normal surfaces as a means of systematization of reflection surfaces, *Energy efficiency in construction and architecture*, Kyiv, 5, 66-69. [in English]