

**М.В. Пашинський**, канд. техн. наук, **В.А. Настоящий**, проф., канд. техн. наук,  
**В.А. Пашинський**, проф., д-р техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна,  
e-mail: pva.kntu@gmail.com*

## Несуча здатність сонячних панелей, встановлених на похилих дахах будівель на території України

Виконані розрахунки несучої здатності сонячних панелей, розташованих на дахах малоповерхових будинків у різних регіонах України. З урахуванням кліматичних навантажень для кожної з адміністративних областей встановлені допустимі значення прольоту панелей при різних кутах нахилу до горизонту. В усіх випадках вирішальним виявився розрахунок за вимогами другого граничного стану. Результати дослідження дозволяють враховувати несучу здатність при виборі сонячних панелей для різних областей України.

**енергоефективність будівель, сонячні панелі, кліматичні навантаження, несуча здатність**

**Постановка проблеми.** Наростаючий дефіцит енергетичних ресурсів спонукає до більш активного впровадження енергоефективних технологій у будівництві. Досить перспективним рішенням є встановлення сонячних панелей на дахах малоповерхових будинків для повного або часткового забезпечення їх електроенергією. У цьому випадку орієнтація сонячних панелей за сторонами світу та кути їх нахилу до горизонту повністю визначаються конструкцією покрівлі. Для широкого впровадження сонячних панелей необхідно проаналізувати їх несучу здатність при дії кліматичних навантажень в різних географічних районах України при різних кутах нахилу панелей до горизонту та розробити рекомендації щодо гранично допустимих розмірів таких панелей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сонячні панелі для міні-електростанцій складаються з двох шарів загартованого скла, між якими розміщуються фотоелектричні комірки [1, 2, 3]. Номенклатура наявних на українському ринку сонячних панелей широко представлена на сайтах постачальників у мережі Internet. Вибірковий аналіз таких сайтів [2, 3] показав, що ширина більшості сонячних панелей, які можна використати для енергопостачання малоповерхових будинків, становить 65...130 см, а довжина 99...239 см. Обшивки виконуються із загартованого скла товщиною 3 мм або 4 мм, а сумарна товщина панелі становить 30...40 мм.

Сонячні панелі встановлюються на металевий каркас паралельно скату покрівлі та з конструктивної точки зору представляють собою плити, які шарнірно обперті по контуру та працюють на згин. На панель діють навантаження від власної ваги, які можна визначити за даними виробників, наведеними в [2, 3] та на інших інтернет-сторінках, а також кліматичні навантаження від снігу, вітрового тиску та ожеледі.

Кліматичні навантаження на будівлі та споруди на території України встановлені в ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи" [4]. Характеристичні значення навантажень визначаються за картами територіального районування. Незручність територіального районування [4] полягає в тому, що межі територіальних районів за характеристичними значеннями кліматичних навантажень не співпадають між собою. Тому в різних географічних точках території реалізуються різні комбінації снігового, вітрового та ожеледного навантаження. Це викликає необхідність

виконувати статичні розрахунки сонячних панелей для кожного населеного пункту окремо і не дозволяє узагальнити отримані результати.

Більш зручний підхід до нормування кліматичних навантажень реалізований в роботі [5], де виконане адміністративно-територіальне районування характеристичних значень ваги снігового покриву, максимального тиску вітру, ваги і товщини стінки ожеледі, а також вітрового тиску під час ожеледі. За даними наявних метеостанцій для кожної адміністративної області України в [5] встановлені обласні характеристичні значення вказаних навантажень, які з імовірністю 0,95 гарантують запас надійності для усієї території області. Такий підхід до територіального районування кліматичних навантажень дозволить встановити гранично допустимі прольоти сонячних панелей для кожної з областей України та використовувати ці значення в межах усієї території області. Для конкретної географічної точки кліматичні навантаження можна уточнити за методикою, викладеною в [6].

Інженерна методика розрахунків сонячних панелей розроблена та апробована в [7]. Вона базується на загальних правилах опору матеріалів та розрахунку пластин [8]. У статті [7] наведені формули для визначення граничних та експлуатаційних розрахункових значень навантажень від дії власної ваги панелі, ваги снігу та ожеледі, а також вітрового тиску. Для розрахунку панелі на згин визначаються складові навантажень, що діють перпендикулярно до поверхні панелі. Виходячи з відомих формул та коефіцієнтів для визначення згинальних моментів і прогинів прямокутних пластин, шарнірно обпертих по контуру [8], у статті [7] отримані вирази для визначення гранично допустимих значень прольоту (меншого розміру) сонячної панелі за критеріями міцності та жорсткості. Результатом досліджень стали таблиці та графіки залежності допустимих прольотів сонячних панелей від відношення їх сторін та кута нахилу до горизонту в кліматичних умовах м. Кропивницький. Встановлено, що допустимий проліт (менший розмір) сонячної панелі зростає при збільшенні кута нахилу до горизонту та при наближенні відношення розмірів сторін панелі до одиниці. Для панелей з обшивками із загартованого скла товщиною 3 мм проліт становить 0,68...1,36 м. В усіх проаналізованих випадках вирішальною є умова жорсткості.

Розроблена методика дозволяє визначити гранично допустимий проліт сонячної панелі відомої конструкції при заданому відношенні довжини до прольоту та при відомих значеннях кліматичних навантажень. В роботі [7] це зроблено лише для умов м. Кропивницький, але конкретні рекомендації щодо допустимого прольоту сонячних панелей в інших регіонах України не розроблені. Подібні рекомендації відсутні також і в інших літературних джерелах та на інтернет-сайтах постачальників сонячних панелей та організацій, що монтують сонячні міні-електростанції.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є встановлення гранично допустимих прольотів сонячних панелей з урахуванням кліматичних навантажень у різних регіонах України та заданого кута нахилу панелі до горизонту.

#### **Виклад основного матеріалу.**

**Передумови та початкові дані.** Як і при апробації методики розрахунку в [6], розглядаються сонячні панелі, встановлені під кутами нахилу до горизонту в досить широких межах  $15^\circ \dots 75^\circ$ . Значення розрахункового опору  $R = 35$  МПа та модуля пружності загартованого скла  $E = 70$  ГПа прийняті за даними [9]. Згідно з рекомендацією [7], аналізуються описані в [2, 3] панелі з відношенням довжини до прольоту 2,0. Це обумовить деяке заниження гранично допустимого прольоту для панелей, ближчих до квадратної форми, і тим самим створить запас надійності при використанні наданих рекомендацій.

При оцінюванні допустимого прольоту враховуються навантаження від власної ваги панелі, снігу, ожеледі та вітрового тиску. В роботі [7] за даними [2, 3] з

урахуванням незначного розкиду для різних панелей встановлене експлуатаційне розрахункове значення навантаження від власної ваги сонячних панелей  $p_e = 120$  Па та граничне  $p_m = 132$  Па.

Кліматичні навантаження визначені для умов кожної з областей України за даними роботи [5]. Наведені в [5] характеристичні значення кліматичних навантажень на території України змінюються в таких межах:

|                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| вага снігового покриву  | $S_0 = 1110 \dots 2320$ Па; |
| максимальний тиск вітру | $W_0 = 360 \dots 670$ Па;   |
| тиск вітру при ожеледі  | $W_B = 150 \dots 510$ Па;   |
| товщина стінки ожеледі  | $b = 11 \dots 35$ мм.       |

Ці значення є дещо вищими від даних карт районування ДБН [4], що забезпечує необхідні запаси надійності при використанні розроблених рекомендацій у межах усієї території тієї чи іншої адміністративної області. Експлуатаційні та граничні розрахункові значення складової рівномірно розподіленого навантаження, що діє перпендикулярно до площини панелі, обчислені згідно з вимогами ДБН [4] за робочими формулами, отриманими в [6]. Розглядаються два сполучення навантажень:

- 1 – власна вага панелі, сніг і максимальний тиск вітру;
- 2 – власна вага панелі, ожеледь з відповідним вітровим тиском.

При визначенні навантажень врахована характерна для малоповерхових будинків висота розміщення сонячної панелі 10 м від поверхні землі, строк експлуатації 100 років та усі встановлені ДБН [4] коефіцієнти, що відображають особливості взаємодії навантажень з конструкцією. При аналізі міцності та жорсткості панелі враховані граничні  $q_m$  та експлуатаційні  $q_e$  розрахункові значення нормальної до поверхні панелі складової сумарного навантаження, більші з двох вказаних вище сполучень навантажень. Як правило, при малих кутах нахилу до горизонту вирішальним є перше сполучення навантажень (вага панелі, сніг та максимальний тиск вітру), а при великих кутах нахилу більші зусилля викликає друге сполучення навантажень (вага панелі, ожеледь і тиск вітру при ожеледі).

**Несуча здатність сонячних панелей.** Сонячна панель складається з двох шарів загартованого скла, між якими розміщені фотоелементи. Розроблена в [7] методика розрахунку в запас надійності не враховує зв'язок між скляними обшивками. Сонячна панель представлена у вигляді двох плит, які працюють на згин незалежно одна від одної. Кожна з обшивок сприймає половину діючого навантаження. В статті [7] наведені формули для визначення гранично допустимих значень прольоту панелі за критеріями міцності  $L_m$  та жорсткості  $L_f$ .

$$L_m = h \cdot \sqrt{\frac{R}{3 \cdot k_m q_m}}, \quad L_f = h \cdot \sqrt[3]{\frac{2 \cdot E}{k_f q_e [L/f]}}. \quad (1)$$

де  $h$  – товщина скла обшивок, мм;

$E, R$  – модуль пружності та розрахунковий опір скла при згині, Па;

$q_m, q_e$  – граничне та експлуатаційне розрахункові значення рівномірно розподіленого навантаження, прикладені нормально до площини панелі, Па;

$k_m$  і  $k_f$  – коефіцієнти з таблиць [6], що залежать від відношення  $B/L$ ;

$B, L$  – більший та менший розміри панелі, м;

$[L/f] = 125$  – допустиме відношення прольоту панелі до прогину за ДСТУ Б В.1.2-3.

Обрахунки за формулами (1) виконані для усіх адміністративних областей України. Граничне та експлуатаційне розрахункові значення навантажень  $q_m$  та  $q_e$  обчислені за формулами з роботи [7] і прийняті більшими з двох вказаних вище

сполучень навантажень. В усіх випадках вирішальними виявилися умови жорсткості. Розрахунок за міцністю дає допустимі значення прольоту на 2...79% більші, ніж з умови прогину, причому запас міцності зростає при збільшенні кута нахилу панелі. Максимально допустимі значення прольоту сонячних панелей описаної вище конструкції для умов усіх областей України наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Допустимі прольоти сонячних панелей на території України

| №  | Області України   | Допустимий проліт панелі при кутах нахилу до горизонту |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |  |
|----|-------------------|--------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|--|
|    |                   | 15                                                     | 20  | 25  | 30  | 35  | 40  | 45  | 50   | 55   | 60   | 65   | 70   | 75   |  |
| 1  | АР Крим           | 750                                                    | 760 | 774 | 821 | 876 | 920 | 901 | 885  | 871  | 858  | 872  | 887  | 904  |  |
| 2  | Вінницька         | 640                                                    | 650 | 664 | 710 | 768 | 839 | 924 | 921  | 915  | 909  | 928  | 950  | 975  |  |
| 3  | Волинська         | 694                                                    | 704 | 718 | 766 | 824 | 894 | 972 | 976  | 971  | 968  | 990  | 1015 | 1044 |  |
| 4  | Дніпропетровська  | 651                                                    | 660 | 674 | 721 | 778 | 849 | 907 | 896  | 887  | 879  | 896  | 915  | 937  |  |
| 5  | Донецька          | 634                                                    | 643 | 656 | 702 | 758 | 828 | 833 | 820  | 809  | 800  | 814  | 829  | 847  |  |
| 6  | Житомирська       | 640                                                    | 650 | 664 | 710 | 768 | 840 | 924 | 930  | 924  | 919  | 939  | 962  | 987  |  |
| 7  | Закарпатська      | 623                                                    | 633 | 646 | 693 | 752 | 826 | 916 | 1028 | 1024 | 1021 | 1045 | 1072 | 1103 |  |
| 8  | Запорізька        | 717                                                    | 726 | 740 | 787 | 843 | 854 | 837 | 822  | 809  | 797  | 810  | 824  | 840  |  |
| 9  | Івано-Франківська | 714                                                    | 725 | 739 | 788 | 847 | 918 | 936 | 941  | 948  | 956  | 986  | 1020 | 1062 |  |
| 10 | Київська          | 653                                                    | 664 | 678 | 726 | 785 | 859 | 947 | 940  | 934  | 930  | 950  | 973  | 1000 |  |
| 11 | Кіровоградська    | 704                                                    | 714 | 728 | 776 | 834 | 902 | 894 | 887  | 882  | 878  | 897  | 919  | 945  |  |
| 12 | Луганська         | 689                                                    | 698 | 712 | 759 | 808 | 803 | 786 | 770  | 757  | 745  | 757  | 770  | 784  |  |
| 13 | Львівська         | 667                                                    | 677 | 690 | 736 | 792 | 860 | 936 | 937  | 928  | 921  | 939  | 960  | 983  |  |
| 14 | Миколаївська      | 704                                                    | 714 | 727 | 774 | 831 | 895 | 883 | 873  | 864  | 857  | 874  | 893  | 914  |  |
| 15 | Одеська           | 710                                                    | 720 | 734 | 782 | 841 | 902 | 894 | 887  | 882  | 878  | 897  | 919  | 945  |  |
| 16 | Полтавська        | 626                                                    | 636 | 650 | 697 | 755 | 828 | 916 | 921  | 913  | 906  | 924  | 945  | 968  |  |
| 17 | Рівненська        | 670                                                    | 680 | 693 | 740 | 798 | 867 | 946 | 950  | 943  | 937  | 957  | 979  | 1005 |  |
| 18 | Сумська           | 613                                                    | 623 | 636 | 683 | 741 | 814 | 904 | 937  | 930  | 924  | 943  | 965  | 990  |  |
| 19 | Тернопільська     | 637                                                    | 647 | 660 | 706 | 763 | 834 | 916 | 910  | 901  | 894  | 912  | 933  | 956  |  |
| 20 | Харківська        | 624                                                    | 634 | 647 | 693 | 750 | 820 | 904 | 913  | 906  | 900  | 919  | 940  | 964  |  |
| 21 | Херсонська        | 743                                                    | 753 | 766 | 813 | 868 | 907 | 891 | 878  | 866  | 855  | 870  | 887  | 906  |  |
| 22 | Хмельницька       | 681                                                    | 691 | 705 | 752 | 810 | 881 | 935 | 928  | 922  | 917  | 937  | 960  | 986  |  |
| 23 | Черкаська         | 639                                                    | 649 | 663 | 710 | 768 | 840 | 925 | 937  | 934  | 931  | 953  | 978  | 1006 |  |
| 24 | Чернівецька       | 714                                                    | 724 | 739 | 787 | 846 | 917 | 938 | 927  | 918  | 910  | 928  | 948  | 971  |  |
| 25 | Чернігівська      | 626                                                    | 635 | 649 | 694 | 751 | 822 | 905 | 948  | 938  | 929  | 947  | 966  | 989  |  |
|    | Найменший         | 613                                                    | 623 | 636 | 683 | 741 | 803 | 786 | 770  | 757  | 745  | 757  | 770  | 784  |  |
|    | Найбільший        | 750                                                    | 760 | 774 | 821 | 876 | 920 | 972 | 1028 | 1024 | 1021 | 1045 | 1072 | 1103 |  |

**Аналіз та узагальнення результатів.** За даними таблиці 1 на рисунку 1 побудовані графіки залежності допустимого прольоту від кута нахилу панелі для п'яти областей, які представляють різні географічні райони України: 1 – АР Крим, 7 – Закарпатська, 11 – Кіровоградська, 12 – Луганська, 18 – Сумська. Позначені на графіках номери областей відповідають таблиці 1. Дані рисунка 1 практично повністю охоплюють можливі межі зміни допустимих прольотів (ширини, меншого розміру) сонячних панелей в умовах України.

Усі криві, наведені на рисунку, мають подібну форму, обумовлену зміною розрахункової комбінації навантажень. До кутів нахилу 35...50° вирішальним є перше сполучення навантажень (власна вага, сніг і вітер). При зростанні кута нахилу допустимий проліт збільшується унаслідок зменшення впливу снігу. При більших кутах нахилу небезпечнішим стає друге сполучення навантажень (власна вага, ожеледь і вітер). З ростом кута нахилу допустимий проліт спочатку зменшується внаслідок

зростання вітрового тиску, а потім починає збільшуватися в результаті зменшення нормальної складової навантаження від ожеледі на більш круто поставлену панель. Точка переходу від першого сполучення навантажень до другого залежить від співвідношення ваги снігового покриву, ваги ожеледі та величини вітрового тиску і тому отримана різною для різних областей України.

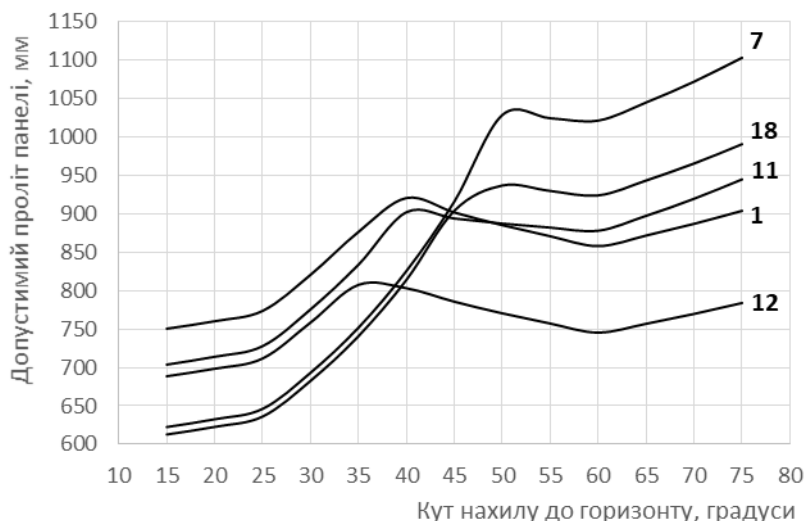


Рисунок 1 – Залежності допустимого прольоту панелей від кута нахилу до горизонту  
Джерело: розроблено авторами

Розподіл найбільших і найменших допустимих прольотів сонячних панелей за регіонами відображено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Локалізація найбільших і найменших значень допустимих прольотів сонячних панелей

| Допустимий проліт панелі | Території з найменшими та найбільшими допустимими прольотами сонячних панелей при кутах нахилу в градусах |    |    |    |    |                         |     |                           |    |    |    |    |    |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|-------------------------|-----|---------------------------|----|----|----|----|----|
|                          | 15                                                                                                        | 20 | 25 | 30 | 35 | 40                      | 45  | 50                        | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 |
| Найбільший               | №1 – АР Крим                                                                                              |    |    |    |    |                         | № 3 | №7 – Закарпатська область |    |    |    |    |    |
| Найменший                | №18 – Сумська область                                                                                     |    |    |    |    | №12 – Луганська область |     |                           |    |    |    |    |    |

Джерело: розроблено авторами

З таблиці 2 видно, що сонячні панелі з найбільшими прольотами можна встановлювати в південних регіонах, а найменшими є допустимі прольоти в багатосніжних областях. Аналіз таблиць 1 та 2 показав, що графіки з рисунка 1 практично повністю охоплюють увесь можливий діапазон допустимих прольотів сонячних панелей на території України. Загалом допустимі прольоти сонячних панелей, тобто їх ширина, в межах території України змінюються від 0,61 м до 1,10 м.

В даній роботі проаналізовані прямокутні панелі з відношенням довжини до прольоту (ширини)  $B/L = 2,0$ . Урахування такого співвідношення розмірів панелей створює запас несучої здатності по відношенню до панелей, форми яких ближчі до квадрату. При виборі сонячних панелей для території певної області при відомому куті нахилу до горизонту можна в запас надійності скористатися даними таблиці 1. Для більш точного встановлення допустимого прольоту необхідно виконати аналогічні розрахунки за методикою [7]. При цьому, за даними [7], допустимий проліт панелі,

залежно від фактичного відношення довжини до прольоту, може збільшитися орієнтовно в межах до 40%.

Представлені в таблиці 1 та на рисунку 1 результати відповідають сонячним панелям з обшивками із загартованого скла товщиною 3 мм, яке має модуль пружності  $E = 70$  ГПа та розрахунковий опір  $R = 35$  МПа. З формул (1) слідує, що зміна товщини скла обшивок обумовлює пропорційну зміну допустимого прольоту панелі, тобто при використанні скла товщиною 4 мм допустимі прольоти зростуть на 33%.

Описані вище розрахунки виконані за умови розміщення сонячних панелей на висоті 10 м від поверхні землі. Перерахунок на висоту розміщення 20 м, що відповідає даху п'ятиповерхового будинку, показав, що допустимий проліт панелей зменшується на 0,1...6,6%. Це вказує на можливість використання даних таблиці 1 при виборі панелей для установки на будинках висотою до п'яти поверхів.

### Висновки.

1. Розрахунки несучої здатності сонячних панелей поширеної конструкції з обшивками із загартованого скла товщиною 3 мм виконані за раніше розробленою методикою з урахуванням кута нахилу до горизонту та кліматичних навантажень для даного регіону.

2. Використання адміністративно-територіального районування України за характеристичними значеннями кліматичних навантажень дозволило для кожної з адміністративних областей встановити залежності гранично допустимого прольоту (меншого розміру) сонячної панелі від її кута нахилу до горизонту. В усіх випадках вирішальною виявилася умова жорсткості. Допустимі прольоти панелей з обшивками із загартованого скла товщиною 3 мм на території України отримані рівними 0,61...1,10 м. Найбільшими є допустимі прольоти в південних регіонах, а найменшими – в багатосніжних областях України.

3. Надані за результатами розрахунків рекомендації щодо допустимих прольотів сонячних панелей передбачають їх установку на висоті до 20 м від поверхні землі, відношення довжини до прольоту панелі, рівне 2,0. Допустимий проліт панелей, форма яких ближча до квадратної, можна збільшити шляхом повторення розрахунків за викладеною методикою.

4. Розроблені рекомендації дозволяють обґрунтовано вибрати тип і розміри сонячних панелей для установки на похилих дахах будівель з урахуванням несучої здатності при дії кліматичних навантажень в кожній з областей України.

### Список літератури

1. Сонячна батарея - будова і принцип роботи. URL: <https://prel.prom.ua/ua/a315870-sonyachna-batareya-budova.html> (дата звернення: 28.04.2022).
2. ECO TECH UKRAINE. Солнечная энергетика, энергоэффективные технологии. Продажа, строительство, сервис. URL: <https://eco-tech.com.ua/gl1422607-solnechnye-batarei-paneli> (дата звернення: 28.04.2022).
3. Solar-Tech. Альтернативні джерела енергії. Продаж, установка, обслуговування. URL : <https://solar-tech.com.ua/ua/solar-electricity/solar-panels/> (дата звернення: 28.04.2022).
4. ДБН В.1.2-2:2006. Система надійності та безпеки в будівництві. Навантаження і впливи. Київ: Мінбуд України, 2006. 59 с.
5. Пашинський В.А., Філімоніхін Г.Б., Пашинський М.В. Районування характеристичних значень кліматичних навантажень на території України. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шумановського*. 2018. Вип. 19 .С. 88-100.
6. Analysis of Methods for Determining Climate Loads at a Specified Territory Point by Meteorological Data / Željko Kos\*, Viktor Pashynskiy, Yevhenii Klymenko, Mykola Pashynskiy . *Tehnički glasnik (Technical Journal)*, Vol. 14, No. 2, June 2020. p. 206-211. ISSN 1846-6168 (Print), ISSN 1848-5588 (Online). <https://doi.org/10.31803/tg-20191125075805>

7. Методика розрахунку несучої здатності сонячних панелей як елемента забезпечення енергоефективності будівель / В.А. Настоящий, В.А. Пашинський, М.В. Пашинський, С.М. Якименко . *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2021. Вип. 5(36). С 161-168.
8. Таблицы для расчета пластин, шарнирно опертых по контуру. URL: <http://doctorlom.com/item374.html> (дата звернення: 03.05.2022).
9. Міцність скла. Несуча здатність. Розрахунок на міцність. Допустимі напруження при згин. URL: <https://okna.ua/ua/library/art-mitsnist-skla-nesucha-zdatnist> (дата звернення: 08.05.2022).

## References

1. Sonyachna batareya - budova i pryntsyyp roboty. [Solar battery - structure and principle of operation]. *prel.prom.ua*. Retrieved from <https://prel.prom.ua/ua/a315870-sonyachna-batareya-budova.html> [in Ukrainian]
2. ECO TECH UKRAINE. Solnechnaya energetika, energoeffektivnyye tekhnologii. Prodazha, stroitel'stvo, servis. [ECO TECH UKRAINE. Solar energy, energy efficient technologies. Sale, construction, service]. *eco-tech.com.ua*. Retrieved from <https://eco-tech.com.ua/gl1422607-solnechnye-batarei-paneli> [in Russian]
3. Solar-Tech. Al'ternatyvni dzherela enerhiyi. Prodazh, ustanovka, obsluhovuvannya. [Solar-Tech. Alternative Energy Sources. Sale, installation, service]. *solar-tech.com.ua*. Retrieved from <https://solar-tech.com.ua/ua/solar-electricity/solar-panels/> [in Ukrainian].
4. Systema nadiynosti ta bezpeky v budivnytstvi. Navantazhennya i vplyvy. [Reliability and safety system in construction. Loads and effects] . (2006). *DBN V.1.2-2:2006*. Kyiv: Ministry of Construction of Ukraine [in Ukrainian]
5. Pashynskiy, V.A., Filimonikhin, G.B. & Pashynskiy, M.V. (2018). Rayonuvannya kharakterystychnykh znachen' klimatychnykh navantazhen' na terytoriyi Ukrayiny. [Zoning of characteristic values of climatic loads on the territory of Ukraine]. *Collection of scientific works of the Ukrainian Institute of Steel Structures named after V. M. Shymanovsky – Collection of scientific works of the Ukrainian Institute of Steel Structures named after V.M. Shymanovsky, Vol. 19*, 88-100 [in Ukrainian].
6. Željko Kos. Analysis of Methods for Determining Climate Loads at a Specified Territory Point by Meteorological Data / Željko Kos\*, Viktor Pashynskiy, Yevhenii Klymenko, Mykola Pashynskiy . *Tekhnichi glasnik (Technical Journal)*, Vol. 14, No. 2, June 2020. p. 206-211. ISSN 1846-6168 (Print), ISSN 1848-5588 (Online). <https://doi.org/10.31803/tg-20191125075805>
7. Nastoyashchyy, V.A., Pashynskiy, V.A., Pashynskiy, M.V. & Yakymenko, S.M. (2021). Metodyka rozrakhunku nesuchoyi zdatnosti sonyachnykh paneley yak elementa zabezpechennya enerhoefektyvnosti budivel' [Method of calculating the bearing capacity of solar panels as an element of energy efficiency of buildings]. *Tsentrāl'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical sciences. Issue. 5 (36)*, 161-168 [in Ukrainian].
8. Tablitsy dlya rascheta plastin, sharnirno opertykh po konturu. [Tables for calculating plates hinged along the contour]. *doctorlom.com*. Retrieved from <http://doctorlom.com/item374.html> [in Russian]
9. Mitsnist' skla. Nesucha zdatnist'. Rozrakhunok na mitsnist'. Dopustymi napruzheniya pry z-hyn. [Strength of glass. Load-bearing capacity. Calculation of strength. Permissible bending stresses]. *okna.ua*. Retrieved from <https://okna.ua/ua/library/art-mitsnist-skla-nesucha-zdatnist> [in Ukrainian]

**Mykola Pashynskiy**, PhD tech. sci., **Vladyslav Nastoyashchyy**, Prof., PhD tech. sci., **Viktor Pashynskiy**, Prof., DSc.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Load-bearing Capacity of Solar Panels Installed on the Hip Roofs in Ukraine**

The growing shortage of energy resources encourages the more active usage of energy-efficient technologies, in particular the use of solar panels to power low-rise buildings. The aim of the work is to establish the maximum allowable spans of solar panels taking into account climatic loads in different regions of Ukraine.

According to the previously developed method, the bearing capacity of solar panels made of tempered glass with a thickness of 3 mm at a ratio of length to span of the panel equal to 2.0 was performed. The panels are installed at a height of up to 20 m from the ground level at angles of inclination to the horizon due to the design of the roofs. Characteristic values of snow cover weight, ice weight and wind pressure were adopted based on the results of the administrative-territorial zoning of Ukraine previously performed by the authors. Each administrative region corresponds to the characteristic values of the loads set in the safety margin with a security level of 0.95. This approach allowed to obtain the dependences of the maximum allowable span (smaller size) of the solar panel from its angle of inclination to the horizon for all 25 regions. In all cases, the condition of rigidity was decisive, and

the allowable spans of panels in Ukraine were obtained equal to 0.61... 1.10 m. The largest allowable spans are in the southern regions, and the smallest span - in the snowy regions of Ukraine. Changing the thickness of the panel leads to a proportional change in its allowable span.

The developed recommendations allow to choose the type and dimensions of solar panels for installation on the hip roofs of buildings in each of the administrative regions of Ukraine. The allowable span of panels, the shape of which is closer to square, can be increased by repeating the calculations according to the aforementioned method.

**energy efficiency of buildings, solar panels, climatic loads, bearing capacity**

*Одержано (Received) 16.05.2022*

*Прорецензовано (Reviewed) 24.05.2022*

*Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022*

**УДК 624.016:624.073.4:624.046.2**

**DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.153-161](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.153-161)**

**О.В. Семко**, проф., д-р техн. наук, **А.В. Гасенко**, доц., канд. техн. наук, докторант,

**О.Г. Фенко**, доц., канд. техн. наук

*Навчально-науковий інститут Архітектури, будівництва та землеустрою*

*Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,*

*м. Полтава, Україна*

*e-mail: [gasentk@gmail.com](mailto:gasentk@gmail.com)*

**В.В. Дарієнко**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*e-mail: [vvdarienko@gmail.com](mailto:vvdarienko@gmail.com)*

## Раціональне використання несучої здатності сталевих профільованих листів незнімної опалубки сталезалізобетонних перекриттів

Ефективне проектування будівельних конструкцій повинно забезпечити рівномірність всіх несучих елементів будівлі. На основі проведеного теоретичного аналізу законструйовано, виготовлено та випробувано по нерозрізній трьох пролітній схемі 6 плит довжиною 6 м шириною 1,06 м і 0,53 м із сталевих профільованих листів марки К35-0,5, як незнімної опалубки монолітних сталезалізобетонних перекриттів. Проведено аналіз впливу змінного кроку встановлення опор, як одного з методів врівноваження рівня використання несучої здатності таких перекриттів.

**сталезалізобетонне перекриття, незнімна опалубка, профільований настил, регулювання зусиль**

**Постановка проблеми.** Сталезалізобетонні конструкції виготовляють як при новому будівництві, так і під час реконструкції будівель чи споруд шляхом вдалого поєднання сталевих переважно стержневих елементів та монолітного бетону [1]. Багатопрогінні згинані сталезалізобетонні конструкції із застосуванням монолітної залізобетонної плити у якості стиснутої площинної частини перерізу та сталевих профільованих листів у якості розтягнутої стержневої добре зарекомендували себе за рахунок високої технологічності влаштування та значної експлуатаційної несучої здатності як в цивільному, так і в промисловому будівництві [2; 3]. Окрім цього, монолітна залізобетонна плита створює жорсткий диск перекриття та дозволяє розділити внутрішній простір будівлі на декілька поверхів [4]. Досить часто для підвищення технологічності влаштування такого перекриття та зменшення термінів