

## **РЕГРЕСИВНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЛІ**

*Наразі в Україні застосовується розпорядчий (примусовий) метод нормування в будівництві. Сутність його полягає в по-елементному описі будівельного об'єкта, відповідно до якого пропонуються безальтернативні проектно-конструкторські рішення. Іншими словами, будівельні норми перетворюються в жорстку інструкцію. Параметричний метод нормування передбачає встановлення функціональних вимог, параметрів, зокрема параметрів енергоефективності окремих конструктивних рішень будівлі. Проектувальник з багатьох можливих альтернатив обирає найефективніше рішення, наприклад, за критерієм енергоефективності. Параметричний метод нормування заснований на ієрархії цілей і завдань та є більш прогресивним.*

*Метою статті є обґрунтування впливу інженерно-конструкторських рішень на енергоефективність житлових будинків за методом кореляційно-регресійного аналізу.*

*З використанням методів кореляційного (стохастичного) аналізу та відповідного програмного продукту середовища MS Excel була створена регресивна модель (рівняння) залежності рівня енергоефективності житлового будинку ( $Y$ ) від сукупності інженерно-технічних проектних рішень. Як вихідні данні були розглянуті показники питомої енергопотребності ( $EP$ ) по 27 проектах 4–9 поверхових житлових будинків. Варіанти проектних рішень по кожному проекту розглядалися за такими напрямками: конструкції зовнішніх стін та дверей, горіщних перекриттів, світлопрозорих огороджувальних конструкцій. Коефіцієнт детермінації отриманого рівняння, який дорівнює 0,884, показує, що вплив інших факторів на рівень енергоефективності ( $Y$ ), які залишились поза увагою наведеного рівняння, становить лише 11,6%, розраховано коефіцієнти еластичності по кожному фактору.*

*Отримане рівняння регресії та похідні від нього коефіцієнти регресії та еластичності можуть прислужитися у параметричному нормуванні та у параметричному ціноутворенні. Знаючи кількісний вплив кожного окремого фактору  $X$  та їх сукупності на результатний показник – рівень енерговитрат  $Y$ , можна цілеспрямовано зосередитись на тому чи іншому факторі. Тобто мати ієрархічний, параметричний ряд впливу різних проектно-конструкторських рішень на показник енергоефективності будівлі.*

**Ключові слова:** класи енергоефективності, будівельні норми з енергоефективності, регресивний аналіз, рівняння регресії, коефіцієнт детермінації.

**Вступ.** В Україні актуальним є питання енергоефективності будівель, зокрема у житловому будівництві. Якщо за європейськими нормами енерговитрати становлять 30–40 кВтг/кв.м, то у нашій країні – 150–250 кВтг/кв.м. На підвищення енергоефективності будівель спрямовані нові законодавчі та нормативні акти, наукові дослідження, робота проєктувальників та будівельників.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» [1], чинні ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» [2] встановлюють вимоги до показників енергоефективності та теплотехнічних показників будівель і споруд.

Унормована максимальна питома енергетична потреба, зокрема для житлових і громадських будівель –  $EP_{max}$ . Класифікація будинків за енергетичною ефективністю наведена у табл. 1.

Таблиця 1

**Класифікація будинків за енергетичною ефективністю [2]**

Класи енергетичної ефективності будинку за питомою енергопотребою	Різниця в % розрахункового або фактичного значення питомої енергопотребі $EP$ від $EP_{max}$ $[(EP - EP_{max}) / EP_{max}] * 100 \%$	Енергоефективність, кВтг/ кв.м опалювальної площі
A	Мінус 50 та менше	22 – 27,5
B	Від мінус 49 до мінус 10	28 - 49
C	Від мінус 9 до 0	50 - 55
D	Від 1 до 25	56-68
E	Від 26 до 50	69 -82
F	Від 51 до 75	83 - 95
G	76 та більше	96 і більше

Фактичне значення  $EP$  визначають за ДСТУ Б В.2.2–39:2016 «Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель». Необхідний клас енергетичної ефективності будинку вказується у завданні на проєктування і підтверджується енергетичним паспортом будинку [4]. У чинних ДБН В.2.2–15:2019 «Житлові будинки. Основні положення», п. 12.3 (з посиланням на стандарти Євросоюзу) введена норма щодо проєктування житлових будинків з класом енергоефективності не нижче «С» [3]. Це дозволить до 40 % заощаджувати на енергії та у випадку реконструкції будинків суттєво продовжить їх строк експлуатації. Зводити нові будівлі з великим споживанням енергії – класів D, E, F і G в Україні не дозволяється [5].

Наразі в Україні застосовується *розпорядчий (примусовий) метод нормування в будівництві*. Сутність його полягає в по-елементному описі будівельного об'єкта, у відповідності з яким пропонуються безальтернативні проєктно-конструкторські рішення. Іншими словами, будівельні норми перетворюються в жорстку інструкцію. *Параметричний метод нормування* передбачає встановлення функціональних вимог, параметрів, зокрема параметрів енергоефективності окремих конструктивних рішень будівлі. Проєктувальник з багатьох можливих альтернатив обирає найефективніше рішення, наприклад, за критерієм енергоефективності. Параметричний метод нормування заснований на ієрархії

цілей і завдань та є більш прогресивним. Параметричний метод отримав широке поширення в економічно розвинених державах (країни ЄС, США, Канада, Японія та ін.). 19 жовтня 2019 року набрав чинності Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про будівельні норми» щодо удосконалення нормування у будівництві». Вказаним Законом надано перевагу саме *параметричному* методу при формуванні вимог будівельних норм [ 8 ].

**Постановка завдання.** Обґрунтування рівняння регресії щодо впливу інженерно-конструкторських рішень на енергоефективність житлових будинків

**Основний зміст і результати досліджень.** З використанням методів кореляційного (стохастичного) аналізу та відповідного програмного продукту середовища MS Excel<sup>1</sup> була створена регресивна модель (рівняння) залежності рівня енергоефективності житлового будинку (Y) від сукупності інженерно-технічних проектних рішень. Як вихідні дані були розглянуті показники питомої енергопотребности ( EP ) по 27 проектах 4 – 9 поверхових житлових будинків. Розрахунки зазначених показників були виконані у відповідності з вимогами чинних ДБН [ 2 ] та ДСТУ [7].

Варіанти проектних рішень по кожному проекту розглядалися за такими напрямками: конструкції зовнішніх стін та дверей, горищних перекриттів, світлопрозорих огорожувальних конструкцій. Наведені напрями проектних рішень - фактори моделі (X), а саме:

- X<sub>1</sub> – зовнішні стіни;
- X<sub>2</sub> – зовнішні двері;
- X<sub>3</sub> – горищні перекриття;
- X<sub>4</sub> – світлопрозорі огорожувальні конструкції.

Таким чином, кількість спостережень відповідає хрестоматійним вимогам кореляційного аналізу – у 6-8 разів перевищувати кількість досліджуваних факторів (X) -  $27/4 > 6$ . Як вихідні дані розглядаються 27 варіантів проектних рішень з відповідності заданому параметру – питомі енерговитрати , кВтг / кв.м.

Статистична характеристика вихідних даних (з огляду на вимоги кореляційного аналізу) наведена у табл.2. Висновок - коефіцієнти варіації відповідають вимогам кореляційного аналізу, оскільки не перевищують 33%.

Таблиця 2

### Статистична характеристика вихідної інформації

Фактор	Середньоарифметичне значення, квтгод/кв.м	Середньоквадратичне відхилення	Варіація,%	Перевірка на однорідність
Y	75,000	23,669	31,56%	однородна
X <sub>1</sub>	1,205	0,154	12,76%	однородна
X <sub>2</sub>	1,273	0,121	9,48%	однородна
X <sub>3</sub>	1,125	0,081	7,24%	однородна
X <sub>4</sub>	1,031	0,026	2,51%	однородна

<sup>1</sup> Автор відповідної Робочої книги MS EXCEL – інж. Р. Курганов

Інформація про парні та частинні коефіцієнти кореляції наведена у табл. 3.

Таблиця 3

**Обрання факторів до регресивної моделі та ранжування їх впливу на результатний показник У**

Показники	X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>		X <sub>4</sub>	
Парн. коефф. кореляції – R	-0,8675		-0,9006		-0,8209		-0,6916	
Парн. коефф. детермінації – R <sup>2</sup>	0,7526		0,8110		0,6740		0,4783	
T <sub>спост.</sub>	-6,9760	(>)	-8,2866	(>)	-5,7509	(>)	-3,8298	(>)
T <sub>крит.</sub>	2,1199		2,1199		2,1199		2,1199	
Част. коефф. кореляції – R	-0,2746		-0,6202		-0,2733		-0,3300	
Част. коефф. детермінації – R <sup>2</sup>	0,0754		0,3846		0,0747		0,1089	
T <sub>спост.</sub>	-1,0296		-2,8504	(>)	-1,0245		-1,2603	
T <sub>крит.</sub>	2,1604		2,1604		2,1604		2,1604	
Ранг обраного фактору	3		1		4		2	

Таким чином, із розглянутих чотирьох найвпливовішим фактором виявився X<sub>2</sub> найменш впливовим – X<sub>4</sub>. Поступовий розрахунок рівнянь зв'язку з покроковим врахуванням факторів X у напрямку спадання їх впливовості на У та обрання остаточної моделі ілюструють розрахунки, що наведені у табл. 4.

Таблиця 4

**Рівняння зв'язку та оціночна статистика для їх обрання**

№№	Рівняння та показники	Рівняння зв'язку : Y <sub>x</sub> =A <sub>0</sub> +A <sub>1</sub> *X <sub>1</sub> +A <sub>2</sub> *X <sub>2</sub> + ... +A <sub>k</sub> *X <sub>k</sub> ;	R R <sup>2</sup>	Значення R (R <sup>2</sup> ): t-спост. t-крит.	E (%)
Крок 1	Рівняння	Y <sub>x</sub> = 299,81 – 176,5 X <sub>2</sub>	0,901	68,69	12,42
	t-спост.	-8,287 (>)		(>)	
	t-крит.	2,120	0,811	<b>4,494</b>	
Крок 2	Рівняння	Y <sub>x</sub> = 490,1 – 148,5X <sub>2</sub> – 219,3X <sub>4</sub>	0,921	41,90	10,5
	t-спост.	-6,045 (>) - 1,916		(>)	
	t-крит.	2,131	0,848	<b>3,68</b>	
Крок 3	Рівняння	Y <sub>x</sub> = 424,8 – 107,2X <sub>2</sub> – 151,3X <sub>4</sub> -47,6 X <sub>1</sub>	0,935	32,70	9,30
	t-спост.	-3,23 (>)-1,32 -1,74		(>)	
	t-крит.	2,145	0,875	<b>3,34</b>	
Крок 4	Рівняння	Y <sub>x</sub> = 444,6 – 97,8X <sub>2</sub> – 144,1X <sub>4</sub> -32,1 X <sub>1</sub> - 51,3X <sub>3</sub>	0,940	24,87	9,41
	t-спост.	-2,85 (>) -1,26 1,03 -1,02		(>)	
	t-крит.	2,160	0,884	<b>3,18</b>	

Як результат досліджень обираємо рівняння регресії, що враховує вплив усіх чотирьох  $X$  – факторів.

$$Y_x = 444,6 - 97,8X_2 - 144,1X_4 - 32,1 X_1 - 51,3X_3$$

Коефіцієнт детермінації ( $R^2$ ), який дорівнює 0,884, показує, що вплив інших факторів на рівень енергоефективності ( $Y$ ), які залишилися поза увагою наведеного рівняння, становить лише 11,6%. Тобто наведене рівняння охоплює ліву частку чинників впливу.  $E(\%)$  – середнє відносне лінійне відхилення  $Y_{\text{розрах.}}$  від  $Y_{\text{факт.}}$  у відсотках до  $Y_{\text{факт.}}$ . Тобто рівняння:  $E = (e^{\sum_{i=1}^n |(Y_{\text{розрах.}} - Y_{\text{факт.}}) / Y_{\text{факт.}}|} \cdot 100\%) / n$ . На рис.1 наведені графіки ліній регресії.

Коефіцієнти регресії, тобто кількісний вплив досліджуваних факторів на зміни питомої енергопотребності будівлі ( $Y$ ) за умов незмінності інших факторів:

- якщо  $X_2$  зростає на 1 долю одиниці, то  $Y$  зменшиться на 97,81 квтг/кв.м;
- якщо  $X_1$  зростає на 1 долю одиниці, то  $Y$  зменшиться на 32,14 квтг/кв. м;
- якщо  $X_3$  зростає на 1 долю одиниці, то  $Y$  зменшиться на 51,29 квтг/кв. м;
- якщо  $X_4$  зростає на 1 долю одиниці, то  $Y$  зменшиться на 144,15 квтг/кв. м.

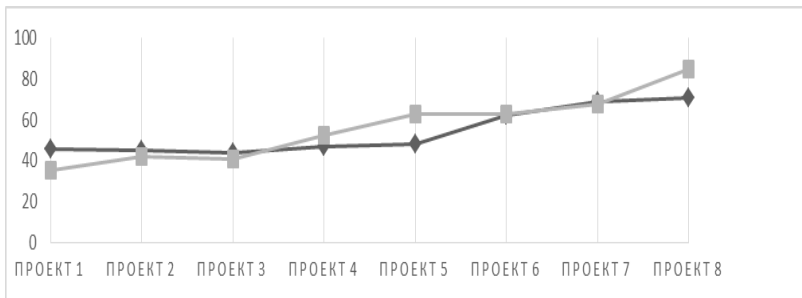


Рис. 1. Теоретична (чорна) та фактична (сіра) лінії регресії

Значення коефіцієнтів еластичності (на скільки відсотків у середньому мають зменшитись енерговитрати будівлі):

- якщо  $X_2$  зростає на 1%, то  $Y$  зменшиться на 1,66%;
- якщо  $X_1$  зростає на 1%, то  $Y$  зменшиться на 0,52%;
- якщо  $X_3$  зростає на 1%, то  $Y$  зменшиться на 0,77%;
- якщо  $X_4$  зростає на 1%, то  $Y$  зменшиться на 1,98%.

**Висновки.** Отримане рівняння регресії та похідні від нього коефіцієнти регресії та еластичності можуть прислужитися у параметричному нормуванні та у параметричному ціноутворенні [8, 9]. Знаючи кількісний вплив кожного окремого фактору  $X$  та їх сукупності на результатний показник – рівень енерговитрат  $Y$ , можна цілеспрямовано зосередитись на тому чи іншому факторі. Тобто мати ієрархічний, параметричний ряд впливу різних проектно-конструкторських рішень на показник енергоефективності будівлі.

### **Список літератури:**

1. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель». «Ціноутворення у будівництві». 2017. № 11, с.4 – 33.
2. ДБН В.2.6-31:2016 “Теплова ізоляція будівель”. Режим доступу: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-13> (дата звернення 11.12.2019)
3. ДБН В.2.2-15:2019 «Житлові будинки. Основні положення». Режим доступу: [http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/08/IB\\_8-19.pdf](http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/08/IB_8-19.pdf) (дата звернення 11.12.2019)
4. Розробка енергетичних паспортів будинку. Режим доступу: <https://www.nzeb.com.ua/ua/designing/developing/developing.html> (дата звернення 10.12.2019).
5. Мінрегіон пропонує будувати житло з класом ефективності не нижче С. Режим доступу :<http://ecolog-ua.com/news/minregion-proponuye-buduvaty-zhytlo-z-klasom-energoefektyvnosti-ne-nyzhche-> (дата звернення 23.09.2019).
6. Міррегіонбуд. Режим доступу: <http://dergbud.org.ua/enerhoefektyvnist-budivvelua.html>. (дата звернення 11.12.2019)
7. ДСТУ EN 15459: 2017 Енергоефективність будівель. Процедура економічної оцінки енергетичних систем будівель. Режим доступу [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=76040](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=76040)
8. Юрій Брикайло. Параметричний метод нормування у будівництві. *Режим доступу* <https://dreamdim.ua/ru/parametrychnyj-metod-normuvannya-v-budivnytstvi/>
9. Измайлова К.В. Урахування класу енергоефективності житлової будівлі у параметричному ціноутворенні. Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – 2019. – № 42. – С. 19–25.
10. Кулик Т.Р. Переваги та недоліки введеного в дію ЗУ Про внесення змін до закону України "Про будівельні норми" щодо удосконалення нормування у будівництві. [Текст] / Т.Р. Кулик, М.М. Кулик // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – 2019. – № 41. – С.99–105.

### **References**

1. Zakon Ukrainy «Pro enerhetychnu efektyvnist budivel». «Tsinoutvorennia u budivnytstvi». 2017. № 11, 4 – 33.
2. DBN V.2.6-31:2016 “Теплова ізоляція будівель”. Rezhym dostupu: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-13>
3. DBN V.2.2-15:2019 «Zhytlovi budynky. Osnovni polozhennia». URL: [http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/08/IB\\_8-19.pdf](http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/08/IB_8-19.pdf)
4. Rozrobka enerhetychnykh pasportiv budynku. Rezhym dostupu: <https://www.nzeb.com.ua/ua/designing/developing/developing.html>.
5. Minrehion proponuie buduvaty zhytlo z klasom efektyvnosti ne nyzhche S. URL :<http://ecolog-ua.com/news/minregion-proponuye-buduvaty-zhytlo-z-klasom-energoefektyvnosti-ne-nyzhche->.
6. Mihrehionbud. URL: <http://dergbud.org.ua/enerhoefektyvnist-budivvelua.html>.
7. DSTU EN 15459: 2017 Enerhoefektyvnist budivel. Protsehdura ekonomichnoi otsinky enerhetychnykh system budivel. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=76040](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=76040)
8. Iurii Brykailo. Parametrychni metod normuvannia u budivnytstvi. Rezhym dostupu <https://dreamdim.ua/ru/parametrychnyj-metod-normuvannya-v-budivnytstvi/>

9. Izmailova, K.V. (2019) Urakhuvannia klasu enerhoefektyvnosti zhytlovoi budivly v parametrychnomu tsinoutvorenni. Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn. 42. 19–25.

10. Kulyk, T.R. & Kulyk, M.M. (2019). Perevahy ta nedoliky vvedenoho v diiu zakonu Ukrainy pro vnesennia zmin do zakonu Ukrainy "Pro budivelni normy" shchodo udoskonalennia normuvannia u budivnytstvi *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 41, 99 – 105.

**Е.В. Измайлова**

**Регрессивная модель влияния проектных решений на энергоэффективность здания**

*Сейчас в Украине применяется распорядительный (принудительный) способ нормирования в строительстве. Сущность его заключается в по-элементном описании строительного объекта, согласно которому предлагаются альтернативные проектно-конструкторские решения. Иными словами, строительные нормы превращаются в жесткую инструкцию. Параметрический метод нормирования предполагает установление функциональных требований, параметров, в частности параметров энергоэффективности отдельных конструктивных решений здания. Проектировщик из многих возможных альтернатив выбирает наиболее эффективное решение, например, по критерию энергоэффективности. Параметрический метод нормирования основан на иерархии целей и задач и является более прогрессивным.*

*Целью статьи является обоснование влияния инженерно-конструкторских решений на энергоэффективность жилых домов по методу корреляционно-регрессионного анализа.*

*С использованием методов корреляционного (стохастического) анализа и соответствующего программного продукта среды MS Excel была создана регрессивная модель (уравнение) зависимости уровня энергоэффективности жилого дома (Y) от совокупности инженерно-технических проектных решений. В качестве исходных данных были рассмотрены показатели удельного энергопотребления (ЭР) по 27 проектам 4 - 9 этажных жилых домов. Варианты проектных решений по каждому проекту рассматривались по следующим направлениям: конструкции наружных стен и дверей, чердачных перекрытий, светопрозрачных ограждающих конструкций. Коэффициент детерминации полученного уравнения, равный 0,884, показывает, что влияние других факторов на уровень энергоэффективности (Y), которые остались без внимания приведенного уравнения, составляет лишь 11,6%, рассчитаны коэффициенты эластичности по каждому фактору.*

*Полученное уравнение регрессии и производные от него коэффициенты регрессии и эластичности могут быть полезными в параметрическом нормировании и в параметрическом ценообразовании. Зная количественное влияние каждого отдельного фактора X и их совокупности на исходный показатель - уровень энергозатрат B, можно целенаправленно сосредоточиться на том или ином факторе. То есть иметь иерархический, параметрический ряд влияния различных проектно-конструкторских решений на показатель энергоэффективности здания.*

**Ключевые слова:** *классы энергоэффективности, строительные нормы энергоэффективности, регрессивный анализ, уравнение регрессии, коэффициент детерминации.*

**K.V. Izmailova**

***Regressive model filling proekt desing to energy efficiency of building.***

*Currently, the regulatory (compulsory) method of normalization in construction is used in Ukraine. Its essence lies in the elemental description of the construction object, according to which alternative design solutions are offered. In other words, building codes are transformed into rigid instructions. The parametric method of rationing involves the establishment of functional requirements, parameters, in particular, the energy efficiency parameters of individual structural solutions of a building. From many possible alternatives, the designer chooses the most effective solution, for example, on the criterion of energy efficiency. The parametric rationing method is based on a hierarchy of goals and objectives and is more progressive.*

*The purpose of the article is to substantiate the influence of engineering and design decisions on the energy efficiency of residential buildings by the method of correlation-regression analysis.*

*Using the methods of correlation (stochastic) analysis and the corresponding software product of the MS Excel environment, a regression model (equation) of dependence of the energy efficiency level of a residential building (B) on a set of engineering and technical design solutions was created. Specific energy consumption (ER) indicators for 27 projects of 4 - 9 storey residential buildings were considered as baseline data. The design solutions for each project were considered in the following areas: exterior wall and door structures, attic ceilings, translucent enclosure structures. of the given equation is only 11.6%, the coefficients of elasticity for each factor are calculated.*

*The regression equation obtained and the coefficients of regression and elasticity derived therefrom can be used in parametric normalization and in parametric pricing. Knowing the quantitative impact of each individual factor X and their totality on the resultant exponentials - the level of energy consumption B, one can purposefully focus on one or another factor. That is, to have a hierarchical, parametric series of influence of different design decisions on the energy efficiency index of a building.*

**Keywords:** *energy efficiency classes, building energy efficiency standards, regression analysis, regression equation, determination coefficient.*

#### **Посилання на статтю**

**APA:** Izmailova, K.V. (2020). A regressive model of the impact of design decisions on the energy efficiency of building. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 44, 108–115.

**ДСТУ:** Ізмайлова К.В. Регресивна модель впливу проектних рішень на енергоефективність будівлі [Текст] / К.В. Ізмайлова // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – 2020. – № 44. – С. 108–115.