

К.В. КРАВЧЕНКО, канд. техн. наук, Є.В. КОШЕЛЕНКО, асистент, А.О. КОШЕЛЕНКО, магістр, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ НА ПРИКЛАДІ 10-ГО КОРПУСУ НТУ «ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Мета. Робота присвячена питанню визначення енергетичної ефективності громадських будівель.

Актуальність даної теми зумовлена прийняттям у 2017 році Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» за яким сертифікація енергетичної ефективності будівель, які знаходяться у комунальній власності і підлягають термомодернізації, реконструкції, термосанації або приміщення яких здаються в оренду, є обов'язковою.

Методи дослідження. У роботі виконано аналіз енергоефективності будівлі на прикладі 10 корпусу НТУ «Дніпровська політехніка». Загальний показник енергетичної ефективності включає в себе втрати крізь огорожуючі конструкції, витрати енергії на підігрівання вентиляційного повітря, на охолодження, кондиціонування приміщення у період року з надлишковими теплонадходженнями та на гаряче водопостачання. У даній роботі основну увагу приділено визначенню та аналізу структури теплових втрат крізь огорожуючі конструкції будівлі. Основними напрямками термомодернізації будівлі наразі є удосконалення огорожуючих конструкцій та модернізація систем вентиляції і теплопостачання.

Практична значимість. Визначено співвідношення між втратами крізь окремі однорідні ділянки огорожуючих конструкцій – стіни, вікна, перекриття горища та підвалу.

Наукова новизна. Визначено питому енергопотребу будівлі, зумовлену втратами енергії крізь огорожуючі конструкції. На підставі отриманих даних розроблені рекомендації для впровадження заходів зі зниження втрат тепла в будівлі та оцінене очікуване зниження енергоспоживання будівлі в результаті доведення опору теплопередачі огорожуючих конструкцій будівлі до мінімальних нормативних значень.

Результати. Дана робота є частиною більшого дослідження енергетичної ефективності, яке охоплює окрім втрат крізь огорожуючі конструкції також витрати енергії системами кліматизації приміщень, витрати на гаряче водопостачання та на освітлення, що складає повний комплекс енергетичних витрат будівлі для визначення класу її енергетичної ефективності. За рахунок термомодернізації огорожувальних конструкцій можна зменшити втрати практично в 3 рази і після приведення термічних опорів огорожень до нормативних значень очікувані розрахункові втрати складуть $33,58 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$.

Ключові слова: енергозбереження, клас енергоефективності, питоме енергоспоживання.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-13-18

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Будівлі житлового, громадського та промислового призначення, які на даний момент експлуатуються в Україні здебільшого характеризуються низькою енергетичною ефективністю, тому проблема енергозбереження в будівлях охоплює не тільки житловий, але і громадський та промисловий фонди. Проблема підвищення енергетичної ефективності у промисловості займаються вже багато років і напрацьовані певні підходи до модернізації підприємств характерних для галузі промисловості [1]. Задача системного підвищення енергетичної ефективності будівель житлового та громадського секторів, зокрема будівель, які вже знаходяться в експлуатації, оцінкою їх поточного стану була актуалізована з прийняттям відповідного Закону «Про енергетичну ефективність будівель». Житлові і громадські будівлі, які будувалися в Україні в минулому, не відповідають сучасним вимогам до ефективного використання енергетичних ресурсів. Так, споживання теплової енергії для опалення будівель в Україні значно перевищує стандарти розвинених країн. Основними причинами такого положення є використання для спорудження будівель застарілих матеріалів і технологій. Це призводить до перевитрат палива для виробництва теплової енергії і, як наслідок, до надлишкових викидів парникових газів. Велика кількість будівель, збудованих за старими стандартами.

На даний момент значна частина українських вузів страждають від того, що їх будівлі не відповідають мінімальним вимогам щодо енергетичної ефективності, і тому «з'їдають» значну кількість коштів їх бюджету, які можна було б направити на закупівлю обладнання і поліпшення якості освіти та умов для навчання студентів.

Для того, щоб хоча б частково вирішити цю проблему, разом з Європейським інвестиційним банком у нас в Україні на державному рівні розробили і впроваджують проект для поліпшення енергоефективності громадських будівель. Колектив авторів з НТУ «Дніпровська Політехніка» бере участь у відборі серед вищих навчальних закладів у 2-му етапі проекту «Вища

освіта України». Метою проекту є термомодернізація будівель закладу вищої освіти, з метою зниження витрат на енергоносії та зменшення викидів CO₂, а також покращення умов навчання та роботи понад 10 тис. осіб студентів та співробітників закладу.

Аналіз досліджень і публікацій. Згідно до [2, 3] в Україні виділяють класи енергоефективності будівель А, В, С, D, Е і F. Спираючись на цю систему, стає зрозумілим, що будівлі класу А (найвищого) споживають набагато менше енергії, щоб підтримувати всі необхідні функції для забезпечення на об'єкті нормальних кліматичних умов. Сума оплати комунальних послуг також менше, ніж в будинках з низькою енергоефективністю. У класифікації враховують і ресурси, витрачені на загальнобудинкові потреби. Відзначимо, такою моделлю не одне десятиліття успішно користуються інші країни, і саме її принципи взяті за основу при розподілі на класи енергоефективності будівель.

Розрахувати енергоефективність об'єкта – важке завдання, для вирішення якої потрібно знати певні тонкощі і вміти проводити складні обчислення. Це один з основних етапів енергомоніторингу, який складається з дослідження будівельної документації на об'єкт, енергетичних обстежень, розробки та реалізації програм з енергозбереження та підвищення продуктивності споживання ресурсів. Розраховуючи енергоефективність, визначають, в якій кількості щорічно витрачаються кошти і носії на енергетичні потреби об'єкта – опалення, кондиціонування, вентиляцію, охолодження та гаряче водопостачання, а також окремо на освітлювальні потреби. Враховують при цьому певні критерії, наприклад, величину і складність конструкції. Перелік може включати в себе велику кількість параметрів.

Обов'язковий перелік заходів з теплової санації будівель включає заходи, виконання яких вимагають діючі норми проектування, а саме:

утеплення зовнішніх стін і даху будинку з метою підвищення їх термічного опору до рівня, який регламентований нормативними вимогами [4];

заміна вікон з метою підвищення їх опору проникнення повітря, а також з метою підвищення їх термічного опору відповідно до нормативних вимог [5];

встановлення приладів будинкового обліку споживання теплової енергії відповідно до вимог діючих норм;

встановлення будинкових приладів регулювання теплової потужності опалювальної системи, як це вимагають норми проектування опалення [6];

встановлення автоматичних індивідуальних терморегуляторів на опалювальних приладах. Ці роботи виконуються в разі заміни або модернізації існуючої опалювальної системи.

Аналіз існуючого стану енергоефективності будівель і споруд показує (рис.1), що основні втрати тепла через огорожуючі конструкції відбуваються через стіни, вікна та з видаленим вентиляційним повітрям і в меншій мірі через підлогу, стелю та двері [7]. Але в кожному окремому випадку систему енергоефективності будівлі або споруди потрібно розглядати окремо, через специфіку та особливості кожного окремого об'єкта, оскільки для об'єктів з різним співвідношенням між елементами огорожуючих конструкцій та різних часів побудови структура теплових втрат буде значно відрізнятися [8].



Рис. 1. Структура теплових втрат для типової будівлі

Оскільки кожна зі складових енергетичного балансу будівлі є досить вагомим, то пропонується на конкретному прикладі будівлі 10 корпусу розглянути втрати енергії через однорідні огорожуючі конструкції окремо і оцінити їх внесок у загальний показник енергоефективності будівлі.

Постановка задачі. Метою роботи є виконання енергетичного моніторингу навчального корпусу №10 НТУ «Дніпровська політехніка» для вирішення наступних задач:

визначення кількісних і якісних показників витрат тепла через огорожуючі конструкції; визначення причин їх виникнення; надання рекомендацій щодо зменшення втрат тепла.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання:

аналіз існуючої документації;

обстеження огорожуючих конструкцій будівлі 10 корпусу НТУ «Дніпровська політехніка»;

розрахунок і аналіз основних витрат тепла через однорідні огорожуючі конструкції.

Викладені матеріали та результати. На території центру міста Дніпро розташований кампус одного з найстаріших вищих навчальних закладів України Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», до складу якого входить корпус №10 (рис 2.). Основні геометричні, теплотехнічні та енергетичні показники 10-го корпусу наведені в табл. 1.



Рис. 2. Фасад корпусу № 10 НТУ «Дніпровська політехніка»

Для визначення показників енергетичної ефективності будівлі розробляється енергетичний паспорт будівлі за формою наведеною у [2]. В основу класифікації будинків за енергетичною ефективністю покладено рівень відносного відхилення розрахункових та нормативних значень питомих витрат теплової енергії на опалення (табл. 1 [2]).

Таблиця 1

Геометричні, теплотехнічні та енергетичні показники 10 корпусу

Показники	Позначення і розмірність показника	Нормативне значення показника	Розрахункове значення показника	Фактичне значення показника
Геометричні показники				
Загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі:	$F_{\Sigma}, \text{ м}^2$		5197	
- стін	$F_{\text{шт}}, \text{ м}^2$		2785	
- вікон і балконних дверей	$F_{\text{спв}}, \text{ м}^2$		667,23	
- вхідних дверей, воріт	$F_{\text{д}}, \text{ м}^2$		20	
- покриттів (суміщених)	$F_{\text{лк}}, \text{ м}^2$		862,5	
- горищних перекриттів (холодних горищ)	$F_{\text{щ}}, \text{ м}^2$		862,5	
Площа опалювальних приміщень	$F_{\text{п}}, \text{ м}^2$		5338,7	
Опалювальний об'єм	$V_{\text{п}}, \text{ м}^3$		12882	
Коефіцієнт скління фасадів будинку	$m_{\text{ск}}$		0,182	
Показник компактності будинку	$\Lambda_{\text{к}}, \text{ буд}$		0,403	
Теплотехнічні показники				
Приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій:	$R_{\Sigma\text{пр}}, \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$			
- стін	$R_{\Sigma\text{пр шт}}$	3,3	5,287	0,939
- вікон і балконних дверей	$R_{\Sigma\text{пр спв}}$	0,75	0,75	0,4
- вхідних дверей, воріт	$R_{\Sigma\text{пр д}}$	0,6	0,6	0,3
- покриттів (суміщених)	$R_{\Sigma\text{пр пк}}$	4,95	4,95	1,15
- горищних перекриттів (холодних горищ)	$R_{\Sigma\text{пр г}}$	3,75	3,75	1,15
Енергетичні показники				
Розрахункові питомі тепловитрати (відповідно року будівництва)	$q_{\text{буд}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$		33,58	95,89
Максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку	$E_{\text{max}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$	72	-53,0	33,2

* при реконструкції допускається збільшити нормативне значення на 25%

Питомі тепловитрати на опалення будинку за опалювальний період $q_{\text{буд}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ $[\text{кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^3]$

$$q_{\text{буд}} = \frac{Q_{\text{рік}}}{F_{\text{п}}}, \text{ або } q_{\text{буд}} = \left[\frac{Q_{\text{рік}}}{V_{\text{п}}} \right]. \quad (1)$$

Розрахункові витрати теплової енергії на опалення будинку під час опалювального періоду $Q_{\text{рік}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$, визначаються за формулою

$$Q_{\text{рік}} = [Q_{\text{к}} - (Q_{\text{ввл}} + Q_{\text{д}}) \cdot \nu \cdot \xi] \cdot \beta_{\text{к}}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{к}}$ – загальні тепловтрати будинку через огорожувальну оболонку, кВт год; $Q_{\text{ввл}}$ – побутові теплонадходження протягом опалювального періоду, кВт год; $Q_{\text{д}}$ – теплові надходження через вікна від сонячної радіації протягом опалювального періоду, кВт год; ν – коефіцієнт, що враховує здатність огорожувальних конструкцій будинків акумулювати або віддавати тепло під час періодичного теплового режиму; ξ – коефіцієнт авторегулювання подачі тепла в системах опалення; $\beta_{\text{к}}$ – коефіцієнт, що враховує додаткове теплоспоживання системи опалення, пов'язане з дискретністю номінального теплового потоку номенклатурного ряду опалювальних приладів, додатковими тепловтратами через позарадіаторні ділянки огорожень, тепловтратами трубопроводів, що проходять через неопалювані приміщення.

Загальні тепловтрати будинку через огорожувальну оболонку відповідно до вимог [2] розраховуються за формулою

$$Q_{\text{к}} = \chi_{\text{л}} \cdot K_{\text{буд}} \cdot D_{\text{д}} \cdot F_{\text{д}}, \quad (3)$$

де $\chi_{\text{л}} = 0,024$ - розмірний коефіцієнт; $K_{\text{буд}}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку, Вт/(м² К), визначається за формулою

$$K_{\text{буд}} = k_{\text{стпр}} + k_{\text{інф}}, \quad (4)$$

де $k_{\text{стпр}}$ – приведений коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку, Вт/(м² К).

У свою чергу приведений коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будівлі визначається за формулою

$$k_{\text{стпр}} = \xi \left(\frac{F_{\text{стп}}}{R_{\text{стпр стп}}} + \frac{F_{\text{стл}}}{R_{\text{стпр стл}}} + \frac{F_{\text{д}}}{R_{\text{стпр д}}} + \frac{F_{\text{ок}}}{R_{\text{стпр ок}}} + \frac{F_{\text{п}}}{R_{\text{стпр п}}} \right) / F_{\text{д}}, \quad (5)$$

де ξ – коефіцієнт, що враховує додаткові тепловтрати, пов'язані з орієнтацією огорож за сторонами світу, наявністю куткових приміщень, надходженням холодного повітря через входи в будівлю; $F_{\text{стп}}$, $F_{\text{стл}}$, $F_{\text{д}}$, $F_{\text{ок}}$, $F_{\text{п}}$ – площа відповідно стін (непрозорих частин), світлопрозорих конструкцій (вікон, ліхтарів), зовнішніх дверей і воріт, покриттів (горищних перекриттів), цокольного перекриттів, м²; $R_{\text{стпр стп}}$, $R_{\text{стпр стл}}$, $R_{\text{стпр д}}$, $R_{\text{стпр ок}}$, $R_{\text{стпр п}}$ – приведений опір теплопередачі відповідно стін, світлопрозорих конструкцій (вікон, ліхтарів), зовнішніх дверей і воріт, покриттів (горищних перекриттів), цокольних перекриттів, м² °С/Вт; підлог по ґрунту - з урахуванням їх поділу на зони із значенням опору теплопередачі; $F_{\text{д}}$ - внутрішня загальна площа огорожувальних конструкцій частини будинку, що опалюється з урахуванням покриття (перекриття) верхнього поверху й перекриття підлоги нижнього опалюваного приміщення, м².

Враховуючи складність розрахунку представленого вище, для початкового аналізу кожен елемент витрат через огорожуючі конструкції окремо розглянемо визначення кількості тепла, котра втрачається через 1м² огорожувальної оболонки стіни, вікна, даху і підлоги з формули

$$R_i = \frac{\Delta T}{q_i} \rightarrow q_i = \frac{\Delta T}{R_i}, \quad (6)$$

де q_i – кількості тепла, котра втрачається через 1м² огорожувальної оболонки i елементу (стіни, вікна, даху і полу), Вт/м²; ΔT – різниця температури між внутрішньою та середньою зовнішньою температурами приймається рівною 20⁰С; R_i – термічний опір матеріалу огорожувальної оболонки стіни, вікна, даху і підлоги, м² °С/Вт

Отримані результати розрахунку представлені в табл. 2 та 3.

Таблиця 2

Визначення кількості тепла, що втрачається через 1м² огорожувальної оболонки до виконання заходів з енергозбереження

Найменування елемента	R_i , м ² °С/Вт	F_i , м ²	q_i , Вт/м ²	% від загальних витрат	Потужність витрат крізь огорожуючі конструкції будівлі $q_{\text{ок}}$, Вт
Стіни	0,939	2785	21,30	12,33	59 318,42
Вікна	0,4	667,23	50,00	28,95	33 361,5
Двері	0,3	20	66,67	38,58	1 333,33
Перекриття горища	1,15	862,5	17,39	10,07	15 000,00
Перекриття підвалу	1,15	862,5	17,39	10,07	15 000,00
Разом				100	124 013,25

Визначення кількості тепла, що втрачається через 1 м² огорожувальної оболонки після виконання заходів з енергозбереження

Найменування елемента	$R_{\Sigma}, \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$	$F_{\Sigma}, \text{ м}^2$	$q_{\Sigma}, \text{ Вт/м}^2$	% від загальних втрат	Потужність втрат крізь огорожуючі конструкції будівлі $q_{\text{окс}}, \text{ Вт}$
Стіни	3,3	2785	6,06	8,04	16 878,79
Вікна	0,75	667,23	26,67	35,35	17 792,8
Двері	0,6	20	33,33	44,19	666,67
Перекриття горища	4,95	862,5	4,04	5,36	3 484,85
Перекриття підвалу	3,75	862,5	5,33	7,06	4 600,00
Разом				100	43 423,11

Таким чином, за рахунок приведення опорів теплопередачі огорожуючих конструкцій до нормативних вимог [2] очікується зниження потужності теплових втрат через огорожуючі конструкції будівлі на 65% або у 2,8 рази.

Визначимо річне розрахункове енергоспоживання на покриття теплових втрат крізь огорожуючі конструкції Q_p , тривалість опалюваного періоду приймаємо 172 доби або $T_{\text{он}}=4128$ год.

Тоді загальне розрахункове споживання енергії на покриття тепловтрат через огорожуючі конструкції становитиме:

до термомодернізації

$$Q_p^{\text{до}} = q_{\text{окс}} \cdot T_{\text{он}} = 124\,013,25 \cdot 4128 \cdot 10^{-3} = 511\,926,7, \text{ кВт}\cdot\text{год};$$

після термомодернізації

$$Q_p^{\text{піс}} = q_{\text{окс}}^{\text{піс}} \cdot T_{\text{он}} = 43\,423,11 \cdot 4128 \cdot 10^{-3} = 179\,250,6, \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

Питоме енергоспоживання на покриття тепловтрат через огорожуючі конструкції будівлі при загальній площі будівлі при опалюваній площі $F_h=5338,7$ м²:

до термомодернізації

$$E_p^{\text{до}} = Q_p^{\text{до}} / F_h = 511\,926,7 / 5338,7 = 95,89, \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2;$$

після термомодернізації

$$E_p^{\text{піс}} = Q_p^{\text{піс}} / F_h = 179\,250,6 / 5338,7 = 33,58, \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2.$$

Нормативне значення питомого енергоспоживання 6-7 поверховими будівлями у II-й кліматичній зоні України встановлено на рівні 72 кВт·год/м². Аналізуючи виконані оцінки теплових втрат крізь огорожуючі конструкції до термомодернізації, можемо зробити висновок, що наразі будівля не відповідає мінімальним вимогам до енергетичної ефективності і потребує виконання термомодернізації, поточний клас енергетичної ефективності будівлі може бути попередньо оцінений на рівні *F* або *G*. Після термомодернізації теплові втрати крізь огорожуючі конструкції значно менші за нормативну величину, проте при визначенні загальної енергопотребности будівлі враховуються також витрати теплової енергії на підігрівання вентиляційного повітря, задоволення потреб гарячого водопостачання, а також на кліматизацію приміщень у період надлишкових тепло надходжень – охолодження та кондиціонування, тому для визначення очікуваного класу енергетичної ефективності будівлі обов'язковим є врахування зазначених чинників.

Висновки та напрямок подальших досліджень. За результатами попереднього енергетичного моніторингу навчального корпусу №10 НТУ «Дніпровська політехніка» отримані наступні результати:

1. Основні втрати тепла через огорожуючі конструкції будівлі у відсотковому відношенні до загальних тепловтрат:

до виконання заходів з енергозбереження вікна 28,92 % та двері 38,59 %;

після виконання заходів з енергозбереження вікна 35,35% та двері 44,19%.

2. Загальні втрати тепла через огорожуючі конструкції з усієї площі будівлі складають Вт/м²:

до виконання заходів з енергозбереження 95,89 кВт·год/м²;

після виконання заходів з енергозбереження 33,58 кВт·год/м².

3. Роботи із забезпечення енергоефективності включають такі види: проведення перед-проектного, поточного та контрольного енергоаудитів, утеплення фасадів, заміна вікон, заміна дверей.

4. В ході реалізації запропонованих заходів очікується підвищення класу енергоефективності будівлі з F до C та максимальне наближення до нормативних вимог щодо припустимих витрат теплової енергії на опалення будівель, які існують в країнах ЄС.

Список літератури

1. **Голишев О.М.** Перспективи підвищення енергоефективності систем тепло забезпечення підприємств гірничо-металургійного комплексу в умовах дефіциту енергоресурсів / **О.М. Голишев, А.О. Голишев, Д.В. Михалків** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2016. – Вип. 41. – С.156-159.
2. ДБН Б В.2.6-31 “Теплова ізоляція будівель”. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65838 (дата звернення: 26.02.2018).
3. ДСТУ Б EN 15217 “Енергетична ефективність будівель. Методи представлення енергетичних характеристик та енергетичної сертифікації будівель”. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=56322 (дата звернення: 26.02.2018).
4. ДСТУ Б В.2.6-34 “Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні технічні вимоги”. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48458 (дата звернення: 26.02.2018).
5. ДСТУ Б В.2.6-17 “Конструкції будинків і споруд. Блоки віконні та дверні. Методи визначення опору теплопередачі”. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4705 (дата звернення: 26.02.2018).
6. ДСТУ Б EN 15251:2011 Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики (EN 15251:2007, IDT) [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28004 (дата звернення: 26.02.2018).
7. **Дешко В.І., Білоус І.Ю., Гончарук С.М., Гурська Ю.В.** Комплексне дослідження енергетичних характеристик будівлі. The scientific heritage. – 2017. – Vol. 9. – P. 63-68.
8. **І.М. Луценко, Є.В. Кошеленко, П.С. Циган.** Оцінка енергетичної ефективності огорожуючих конструкцій будівель // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2018. – № 100. – С. 95-101

Рукопис подано до редакції 04.04.2018

УДК 622.333 – 033.26:625.06

С.В. ПОДКОПАЄВ, д-р техн. наук, проф., О.І. ПОВЗУН, В.В. КАЛИНИЧЕНКО,
С.О. ВІРИЧ, кандидати техн. наук, доценти
Донецький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ КАМ'ЯНОВУГІЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ, МОДИФІКОВАНИХ ВІДХОДОМ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІСТИРОЛУ ТА НАПОВНЕНИХ КОКСОВИМ ВУГІЛЛЯМ, ДЛЯ УКРІПЛЕННЯ ОСНОВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Мета. Визначення оптимальних концентрацій відходу виробництва полістиролу (полістирольного пилу) та коксового вугілля у кам'яновугільних в'язучих для дорожнього будівництва.

Методи дослідження. Окрім стандартних методів визначення фізико-механічних властивостей органічних в'язучих речовин (глибина проникнення голки в градусах шкали пенетрометра, еластичність – прилад дуктилометр, температура розм'якшення – прилад «Кільце і куля») застосовано метод математичного планування експерименту.

Наукова новизна. Вперше проведено математичне й комп'ютерне дослідження системи «середовище, що модифікується (кам'яновугільний дьоготь), – полімер (відходи виробництва полістиролу – полістирольний пил) – активний дисперсний наповнювач (коксове вугілля). Розроблено математичну модель для оптимізації складу кам'яновугільних в'язучих, що відповідають зазначеній системі.

Практична значимість. Знаючи математично обчислені оптимальні концентрації полістирольного пилу та коксового вугілля, можна у виробничих умовах приготувати наповнене вугіллям дьогтеполістирольне в'язуче, яке за фізико-механічними властивостями і екологічними показниками наближається до бітуму нафтового дорожнього.

Результати. При оптимізації складу модифікованого полістирольним пилом та наповненого коксовим вугіллям кам'яновугільного в'язучого як фактори варіювання було прийнято: умовна в'язкість кам'яновугільного дьогтю за C_{30}^{10} , с (секунди); масова концентрація полістирольного пилу, %; масова концентрація коксового вугілля, %. Параметрами оптимізації є: глибина проникнення голки в градусах шкали пенетрометра, еластичність в'язучого при 0°C, м, температура розм'якшення в'язучого, °C. Оптимальні склади системи «дьоготь – полістирольний пил – коксове вугілля» визначали як оптимальні області допустимих значень факторів X_1 , X_2 , X_3 . Коефіцієнти рівнянь регресії об-