

## ГЕЛІОКОЛЕКТОРИ-КОНЦЕНТРАТОРИ ДЛЯ СИСТЕМ СОНЯЧНОГО ОПАЛЕННЯ

Основними видами палива для нагріву теплоносія систем опалення та гарячого водопостачання в Україні є переважно газ та меншою мірою вугілля [2]. Проте, паливна криза примусила переглянути перспективність використання газу, як основного виду палива. Це дало можливість для розвитку альтернативної енергетики та систем геліотеплопостачання в Україні. В усьому світі відновлювальні джерела енергії, особливо сонячної, привертають до себе все більше уваги. Це зумовлено такими проблемами, як вичерпність родовищ нафти, газу та вугілля, а також погіршення екологічного становища.

Енергетичний потенціал таких відновлюваних джерел енергії як вітер, вода, сонце та біомаса дуже великий [2,5]. Проблемою використання цього потенціалу є малий (10–15%) ККД устаткування, що перетворює енергію альтернативного джерела в теплову.

В Україні використання сонячної енергії викликає особливий інтерес, перш за все в її південних районах з їх теплим і сонячним кліматом, оскільки на цій території країни біля 210 сонячних днів на рік. При питомій річній сонячній радіації в цілому по Україні  $1158 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ , перспективний тепловий енергетичний потенціал складає 26 млн.  $\text{МВт} \cdot \text{год}/\text{рік}$  [2]. Це є достатнім обґрунтуванням доцільності використання сонячної енергії, як джерела теплоти для систем опалення та гарячого водопостачання в промисловому та житлово-господарчому комплексах України.

Сонячний колектор є основним елементом установки, в якій енергія випромінювання сонця перетворюється в іншу форму корисної енергії [1,5]. В залежності від типу теплоносія сонячні колектори поділяються на *рідинні* та *повітряні*, а за досягаємою температурою на *низькотемпературні*, *середньотемпературні* та *виськотемпературні*. Існують плоскі та фокусуючі колектори. В *плоских* колекторах поверхня, яка сприймає сонячне випромінювання, є одночасно поверхнею, яка поглинає випромінювання. *Фокусуючі* колектори, мають увігнуті відбивачі, які концентрують падаюче випромінювання.

Сучасні плоскі геліоколектори з вакуумною теплоізоляцією мають ряд суттєвих недоліків: низька температура теплоносія ( $\approx 55\text{--}60\text{ }^\circ\text{C}$ ); значна матеріалоемність конструкції; технологічна складність виготовлення вакуумної теплоізоляції трубопроводів колектора; необхідність значних вільних поверхонь для їх розміщення, які обмежують їх застосування.

В колекторах-концентраторах використовуються оптичні системи (дзеркала або лінзи) для збільшення густини сонячної радіації на поверхні, яка поглинає сонячну енергію, при цьому розміри колектора зменшуються, отже знижуються і теплові втрати.

Ефективність фокусуєчих колекторних систем визначається рівнянням балансу енергії [1]:

$$q_u = H_b R_b \rho \gamma \tau \alpha - \frac{A_r}{A_\alpha} U_L (T_{r,x} - T_\alpha),$$

де  $q_u$  – корисна енергія,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $\rho$  – відбиваюча здатність дзеркальної поверхні;  $\gamma$  – частка дзеркально відбитої радіації, яка вловлюється поглинаючою поверхнею, або коефіцієнт вловлення;  $\tau \alpha$  – пропускна здатність покриття або поглинаюча здатність поверхні приймача;  $H_b R_b$  – густина потоку прямої радіації в плоскій апертурі колектора;  $A_\alpha/A_r$  – ступінь концентрації;  $U_L(T_r - T_\alpha)$  – теплові втрати з одиниці поверхні геліоприймача при температурі  $T_r$  в навколишнє середовище з температурою  $T_\alpha$ .

Метод розрахунку теплових втрат приймачів фокусуєчих систем складніший, ніж метод розрахунку плоских колекторів, що пов'язано з тим, що потік випромінювання на приймачі неоднорідний.

Розглянемо процес теплообміну в колекторі-концентраторі сонячної енергії (рис. 1).

Втрати теплоти зовнішнім заскленням в навколишнє середовище дорівнюють кількості теплоти, яка переноситься від поглинаючого елемента з температурою  $T_{\text{погл.ел.}}$  до прозорого покриття з температурою  $T_c$ . Втрати теплоти від зовнішнього засклення в навколишнє середовище визначаються відповідним опором теплопередачі, який можна представити у вигляді:

$$R_a = \frac{1}{\alpha_A},$$

де  $\alpha_A = \alpha_k + \alpha_{\text{пр}}$ ;  $\alpha_k$  та  $\alpha_{\text{пр}}$  – коефіцієнти тепловіддачі конвекцією та випромінюванням від зовнішнього засклення до навколишнього середовища,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{K})$ .

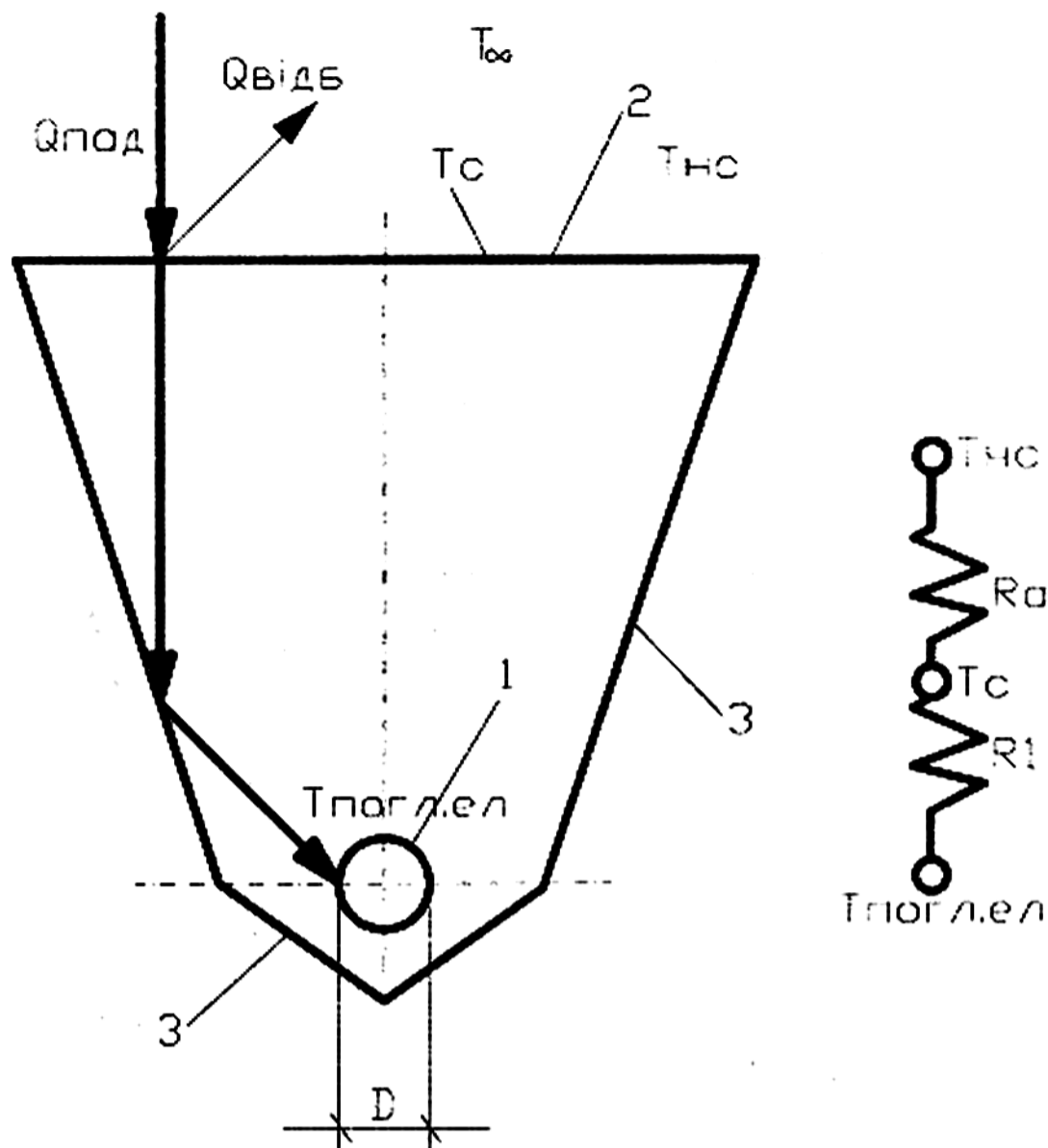


Рис. 1. Схема теплоперенесення в колекторі-концентраторі:

1 – поглинаючий елемент; 2 – застелення; 3 – концентратор;  $Q_{\text{пад}}$  – пряма сонячна радіація;  $Q_{\text{відб}}$  – відбита сонячна радіація;  $T_{\infty}$  – температура небозводу;  $T_{\text{нс}}$  – температура навколишнього середовища;  $T_{\text{с}}$  – температура застелення;  $T_{\text{погл.ел.}}$  – температура поглинаючого елемента;  $R_a$  – опір теплопередачі між застеленням та навколишнім середовищем;  $R_1$  – опір теплопередачі між поглинаючим елементом і застеленням;  $D$  – діаметр поглинаючого елемента.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від застелення до навколишнього середовища визначається, в основному, швидкістю вітру над колектором. Для сонячного колектора його можна визначити за формулою [1]:

$$\alpha_k = 5.7 + 3.8 \vartheta,$$

де  $\vartheta$  – швидкість вітру, м/с

Значення коефіцієнта тепловіддачі випромінюванням можна визначити за формулою [1]:

$$\alpha_{\text{пр}} = \epsilon_c \sigma (T_c^2 + T_{\infty}^2) (T_c + T_{\infty}),$$

де  $\epsilon_c$  – ступінь чорноти застелення;  $\sigma = 5,6697 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>) – постійна Стефана-Больцмана;  $T_c$  – температура зовнішнього шару застелення, К;  $T_{\infty}$  – температура небозводу, К, її значення можна прийняти [1]:

$$T_{\infty} = 0,0552T_{\text{нс}},$$

де  $T_{\text{нс}}$  – температура навколишнього середовища, К.

Враховуючи те, що коефіцієнти тепловіддачі для циліндричних поверхонь несуттєво відрізняються від коефіцієнтів тепловіддачі, розрахованих для плоских поверхонь, опір теплопередачі між поглинаючим елементом і засклення має вигляд [4]:

$$R_1 = \frac{1}{\alpha_1},$$

де  $\alpha_1 = \alpha_{\text{кл}} + \alpha_{\text{прл}}$ ,  $\alpha_{\text{кл}}$  та  $\alpha_{\text{прл}}$  – коефіцієнти тепловіддачі конвекцією та випроміненням від поглинаючого елемента до засклення, Вт/(м<sup>2</sup>К), які визначаються за формулою [1]:

$$\alpha_{\text{кл}} = (\ell - 0,018(T - 10))1,14 \frac{\Delta T^{0,31}}{\ell^{0,07}},$$

де  $\ell$  – відстань між поглинаючим елементом і склом, см;  $\Delta T$  – різниця температур між поглинаючим елементом і склом;  $T$  – середня температура поглинаючого елемента і скла, К;

$$\alpha_{\text{прл}} = \frac{\sigma(T_{\text{пог.ел.}}^2 + T_c^2)(T_{\text{пог.ел.}} + T_c)}{\frac{1}{\epsilon_{\text{пог.ел.}}} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1},$$

де  $T_{\text{пог.ел.}}$  – температура поглинаючого елемента, К;  $\epsilon_{\text{погл.ел.}}$  – ступінь чорноти поглинаючого елемента;  $\epsilon_c$  – ступінь чорноти засклення;  $T_c$  – температура зовнішнього шару засклення,

Повний коефіцієнт теплообміну колектора з навколишнім середовищем дорівнює [1]:

$$U_L = \left( \frac{1}{\alpha_A} + \frac{1}{\alpha_1} \right)^{-1},$$

де  $\alpha_A$  – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією та випромінюванням від засклення до навколишнього середовища, Вт/(м<sup>2</sup>К);  $\alpha_1$  – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією та випромінюванням від поглинаючого елемента до засклення, Вт/(м<sup>2</sup>К).

Значення ККД колектора-концентратора визначається за формулою [5]:

$$\eta_k = \frac{Q_k}{A_k I},$$

де  $Q_k$  – корисна теплова потужність, яка відводиться теплоносієм, Вт;  $I$  – інтенсивність сумарної сонячної радіації, Вт/м<sup>2</sup>;  $A_k$  – площа поверхні колектора, м<sup>2</sup>.

Експериментальні дослідження геліоколектора-концентратора проводились в весняно-осінній період 2006 року в м. Києві. Метою випробувань було визначення оптичних та теплових характеристик геліоколектора.

При проведенні експерименту вимірювання температур, витрати теплоносія та інтенсивності сонячного випромінювання виконувались через кожні 15 хвилин, в межах яких значення параметрів усереднюються. Випробування проводяться при інтенсивності сонячного випромінювання не менше 500 Вт/м<sup>2</sup> та куті падіння сонячного випромінювання на поверхню колектора-концентратора не більше 30°. Випробування були багатоденним процесом, в різні дні якого експерименти проводяться при різних зовнішніх умовах.

Експериментальна установка являє собою двограний плоский параболічний сонячний колектор-концентратор. Концентратором сонячної енергії є чотири дзеркала загальною площею 0,38 м<sup>2</sup>. Трубчатий теплоприймач, який являє собою мідну трубу  $d_y = 25$  мм, яка розташовується в колекторі таким чином, щоб максимально використати відбите від дзеркальної поверхні концентратора сонячне випромінювання. Розміщення теплоприймача в колекторі регулюється по висоті. Циркуляція теплоносія відсутня. Ступінь концентрації колектора змінюється від  $k = 3...5$  за допомогою зміни кута розкриття дзеркал.

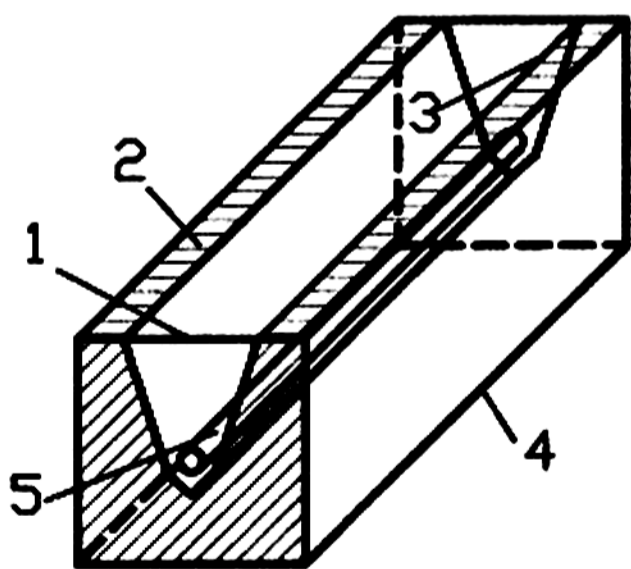


Рис. 2. Експериментальна модель геліоколектора-концентратора сонячної енергії:

1 – скло; 2 – теплоізоляція; 3 – дзеркальні поверхні; 4 – захисний корпус;  
5 – мідна труба.

Температура теплоприймача вимірювалась за допомогою термопар ТХК. Знімалися показання термопар в 10 точках за допомогою цифрового мілівольтметра Ф-283. Інтенсивність сонячної радіації визначались за допомогою пірометра П-80М. Температура навколишнього повітря вимірювалась за допомогою хромель-копелевих термопар, які розташовувались у затінку поруч з геліоколектором.

За результатами експериментів був побудований графік зміни температури теплоносія сонячного колектора-концентратора за час проведення експерименту.

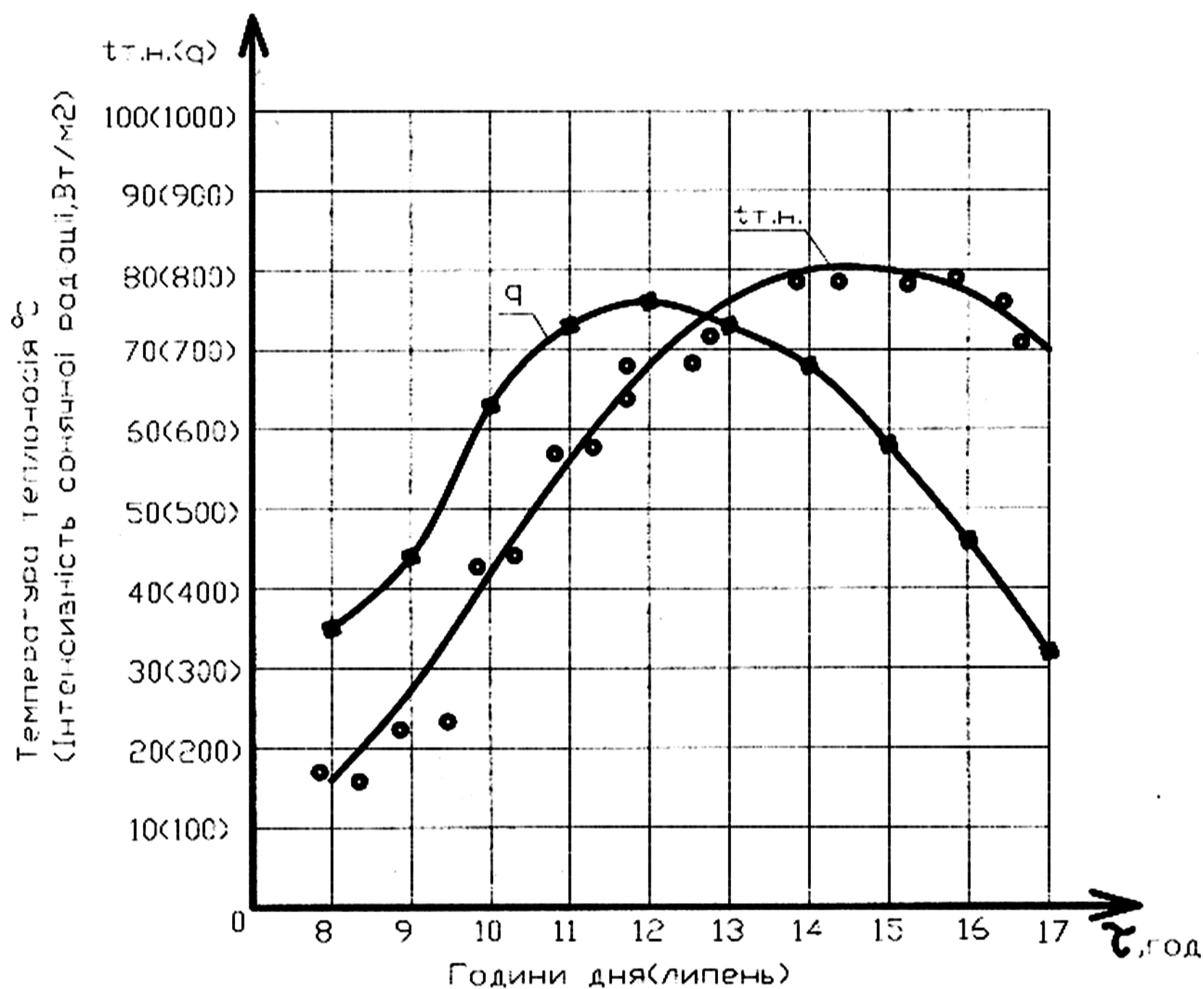


Рис. 3. Графік зміни температури теплоносія:  
 $t_{т.н.}$  – температура теплоносія;  $q$  – інтенсивність сонячної радіації.



## Висновок

Результати дослідження свідчать про досить високу ефективність застосування геліоколекторів-концентраторів для нагрівання теплоносія у регіонах з низькою інтенсивністю сонячної радіації, яким є м. Київ. Так при інтенсивності сонячної радіації  $\sim 750 \text{ Вт/м}^2$  температура теплоносія становить  $\sim 80^\circ\text{C}$ , що відповідає вимогам для теплоносіїв систем тепlopостачання.

## Використана література

1. *Даффи Дж. А., Беркман У.А.* Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир, 1977. – 420 с.
2. *Забарний Г. М.* Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України. НАН України. Ін-т технічної теплофізики – К., 2002. – 211 с.
3. *Исаченко В. П., Осипова В. А.* Теплопередача. – М.-Л.: Энергия, 1965. – 424 с.
4. *Михеев М.А., Михеева И. М.* Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1973. – 320 с.
5. *Сарнацкий Э. В.* Использование солнечной энергии для теплоснабжения зданий. – К.: Будівельник, 1985. – 254 с.