

джень хімізму процесу [13, 14]. При цьому вміст металу-модифікатора істотно більший, ніж у випадку простого катіонного обміну [15].

Табл. Зміна хімічного складу глини у процесі її модифікування солями перехідних металів

Зразок	Визначувані елементи, % мас.			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	Cu ²⁺
Природна глина	3,99	0,33	1,12	—
Залізовмісна глина	0,89	0,18	4,54	—
Мідевісна глина	1,23	0,20	—	4,28

Висновки

Було досліджено процес синтезу нових сорбційних матеріалів для знешкодження сірководневих газових викидів.

Розроблено методику синтезу, яка дає змогу наносити на глинисту матрицю максимальну кількість гідроксидів заліза (III) та міді (II).

Аналітичним шляхом визначено максимальну кількість відповідних металів, яку можливо нанести на глинисту матрицю.

Література

1. Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочишников Н.С. Техника защиты окружающей среды. – М.: Химия, 1989. – 511, [1] с.
2. Комаров В.С. Адсорбционно-структурные, физико-химические и каталитические свойства глин Белоруссии. – Минск: Наука и техника, 1970. – 317 с.
3. Zhe Ding, Ray L. Frost. *Thermochimica Acta* 416 (2004) 11-16.
4. Zhu H.Y., Zhu Z.H., and Lu G.O., *Phys J. Chem. B* 2000, 104, 5674-5680.
5. Skoularikis N.D., Coughlin R.W., Kostapapas A., Carrado K., Suib S.L., *Appl. Catal. A* 1988, 39, 61.
6. Lenarda M., Ganzerla B.J., Storaro L., Enzo S., Zannoni R., *Mol J. Catal.* 1994, 92 (2), 201.
7. Jia-Qian Jiang, Colin Cooper, Sabeha Ouki, *Chemosphere* 47 (2002) 711-716.
8. Jia-Qian Jiang, Colin Cooper, Sabeha Ouki, *Chemosphere* 53 (2003) 53-62.
9. Comets J.-M., Kevan L., *Phys J. Chem.* 97 (1993) 466.
10. Ghagiri M., Farzaneh F., Ghandi M., Alizadeh M., *Mol J. Catal. A Chem.* 233 (2005) 127.
11. Joseph T., Shanbhag G.V., Halligudi S.B., *Mol J. Catal. A Chem.* 236 (2005) 139.
12. Даценко Н.М., Кузьма Д.Б. Литолого-минералогическая характеристика глинистых пород Язовского серного месторождения// Деп. в УкрНИИТИ 22.06.1988 № 1584 – Ук88.
13. Кріп І.М., Степова К.В. Модифікування сірих язівських глин кислотними розчинами хлориду заліза (III) з метою одержання залізовмісних глинистих сорбентів// Вісник НУ "Львівська політехніка". – Львів: НУ "Львівська політехніка". – 2005, № 536. – С. 163-165.
14. Кріп І.М., Фетісова М.А. Модифікування бентонітових глин рідкими відходами хлориду міді// Вісник НУ "Львівська політехніка". – Львів: НУ "Львівська політехніка". – 2005, № 536. – С. 160-162.
15. Овчаренко Ф.Д., Тарасевич Ю.И. Адсорбция на глинистых минералах. – К.: Наук. думка, 1975. – 351 с.

УДК 66.047

*Проф. Я.М. Ханик, д-р техн. наук; асист. Т.І. Римар;
ст. викл. І.О. Гузьова, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"*

ОСОБЛИВОСТІ ГІДРОДИНАМІКИ ПІД ЧАС РУХУ ТЕПЛОНОСІЯ КРІЗЬ ШАР СУХОГО ДИСПЕРСНОГО МАТЕРІАЛУ

Наведено результати досліджень гідродинаміки монодисперсних шарів сухої глини, сформованої у вигляді частинок циліндричної форми, що мають різний ді-

метр. Встановлено, що коефіцієнт опору залежить від величини критерію Рейнольдса та діаметру частинки.

Ключові слова: гідродинаміка, монодисперсний шар, глина.

*Prof. Ya.M. Khanyk; assist. T.I. Rymar;
senior teacher I.O. Huzyova – NU "L'vivs'ka Politekhnik"*

Features of hydrodynamics during motion of air through the layer of dry dispersion material

The results of researches of hydrodynamics of layers of the dry clay, formed as the particles of cylinder form, which have a different diameter, are resulted in the article. It is set that coefficient of resistance lie too long from the size of Re and diameter of particle.

Keywords: hydrodynamics, dispersion layer, clay.

Постановка завдання. Дослідження гідродинаміки руху газового потоку крізь дисперсне середовище з точки зору тепло- та масообміну між середовищем і потоком має важливе значення під час вивчення процесу сушіння дисперсного матеріалу продуванням гарячого повітря. Суть такого методу зневоднення матеріалів полягає у тому, що під дією перепаду тисків теплоносій відбувається крізь пори, капіляри чи канали об'єкта сушіння в напрямку "поверхня шару матеріалу – перфорована поверхня" і його рух збігається з вектором дії сили ваги. Залежність гідравлічного опору шару матеріалу від швидкості руху теплоносія визначає енергетичні витрати на процес сушіння, а також дає змогу його прогнозувати.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Енергозбереження у всіх галузях народного господарства, на сьогодні, є однією з актуальніших сучасних проблем. Шляхи інтенсифікації сушіння дисперсних матеріалів спрямовані на енерго- та ресурсозбереження і успішно реалізуються застосуванням методу їх зневоднення в умовах фільтрації теплоносія крізь шар матеріалу. Теоретичні та експериментальні дослідження [1, 2] доводять ефективність цього методу. Однак, цілковитого вирішення задач з питання руху потоку у дисперсному середовищі довільної форми не існує.

Формулювання мети статті. На основі експериментальних досліджень, встановити залежність гідравлічного опору монодисперсного шару матеріалу від його структурних характеристик.

Виклад основного матеріалу. Встановлення закономірностей зміни гідравлічного опору шару матеріалу від його структурних особливостей і швидкості теплоносія дає змогу аналізувати енергетичні витрати на процес. Вивчення гідродинаміки руху теплоносія крізь шар сухого матеріалу виконувалось в діапазоні його висот від 0,02 до 0,3 м. Дослідний матеріал – монодисперсні частинки із глини, сформовані у вигляді циліндрів, розміром:

$$\begin{aligned} d \times h &= 0,006 \text{ м} \times 0,01 \text{ м}; d \times h = 0,008 \text{ м} \times 0,01 \text{ м}; \\ d \times h &= 0,01 \text{ м} \times 0,01 \text{ м}; d \times h = 0,012 \text{ м} \times 0,015 \text{ м}. \end{aligned}$$

Залежність гідравлічного опору від фіктивної швидкості теплоносія крізь монодисперсний шар матеріалу розміром частин ($d \times h = 0,006 \text{ м} \times 0,01 \text{ м}$) для різних його висот представлено на рис. 1, а. Встановлено, що ці залежності мають параболічний характер з випуклістю до осі ординат. Подіб-

ний характер мають і інші гідродинамічні залежності досліджуваних монодисперсних шарів частинок глини, сформованої у вигляді циліндрів з іншими діаметрами (рис. 1, б). Збільшення висоти шару матеріалу призводить до зростання його гідравлічного опору (рис. 1, а), а збільшення діаметра циліндричних частин монодисперсного шару – до зменшення ΔP (рис. 1, б).

Основною характеристикою дисперсного середовища, що визначає його гідродинамічні властивості, є коефіцієнт опору λ , який є прямо пропорційним до відношення $\Delta P/l$, еквівалентного діаметра каналу d_e і обернено пропорційним до швидкісного тиску $\rho \cdot \omega^2 / 2$ [3]

$$\lambda = \frac{\Delta P}{H} \cdot \frac{2 \cdot d_e}{\rho \cdot \omega^2}, \quad (1)$$

де: ω – швидкість потоку, м/с; ΔP – перепад тиску (Па) по висоті шару H (м), та еквівалентному діаметру каналу – d_e (м); ρ – густина потоку, кг/м³.

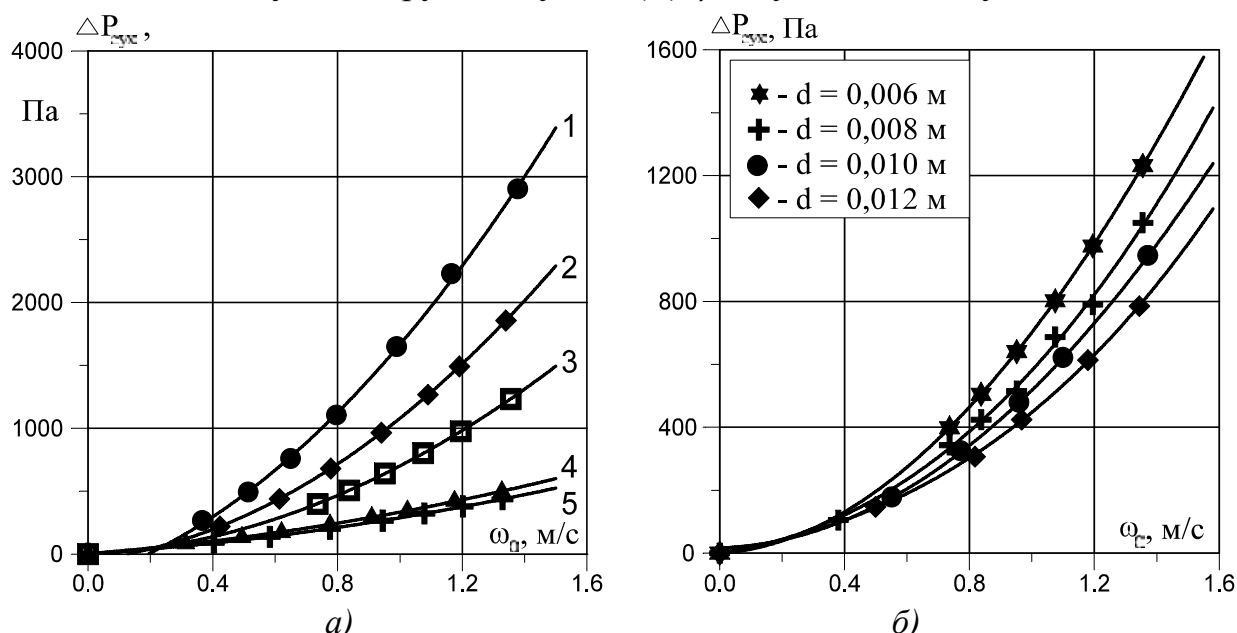


Рис. 1. Залежність гідравлічного опору монодисперсного шару сухої глини від фіктивної швидкості руху теплоносія: а) для циліндричних частинок розміром ($d \times h = 0,006 \text{ м} \times 0,01 \text{ м}$) за висот шару: 1 – $H = 0,3 \text{ м}$; 2 – $H = 0,2 \text{ м}$; 3 – $H = 0,13 \text{ м}$; 4 – $H = 0,06 \text{ м}$; 5 – $H = 0,02 \text{ м}$; б) для різних діаметрів циліндричних частинок за висоти шару $H = 0,13 \text{ м}$

Величина коефіцієнта опору λ залежить від гідродинамічного режиму, що визначається критерієм Re , який характеризує структуру потоку. Однак, необхідно враховувати й інші параметри, що залежать від структури та форми шару. Теоретично розкрити зміст величини λ дуже складно, тому задачу вирішують, базуючись на тому, що коефіцієнт опору є функцією багатьох параметрів [3, 4]: величини Re , структурних характеристик дисперсного шару, коефіцієнта форми Φ , що характеризує форму частин тощо.

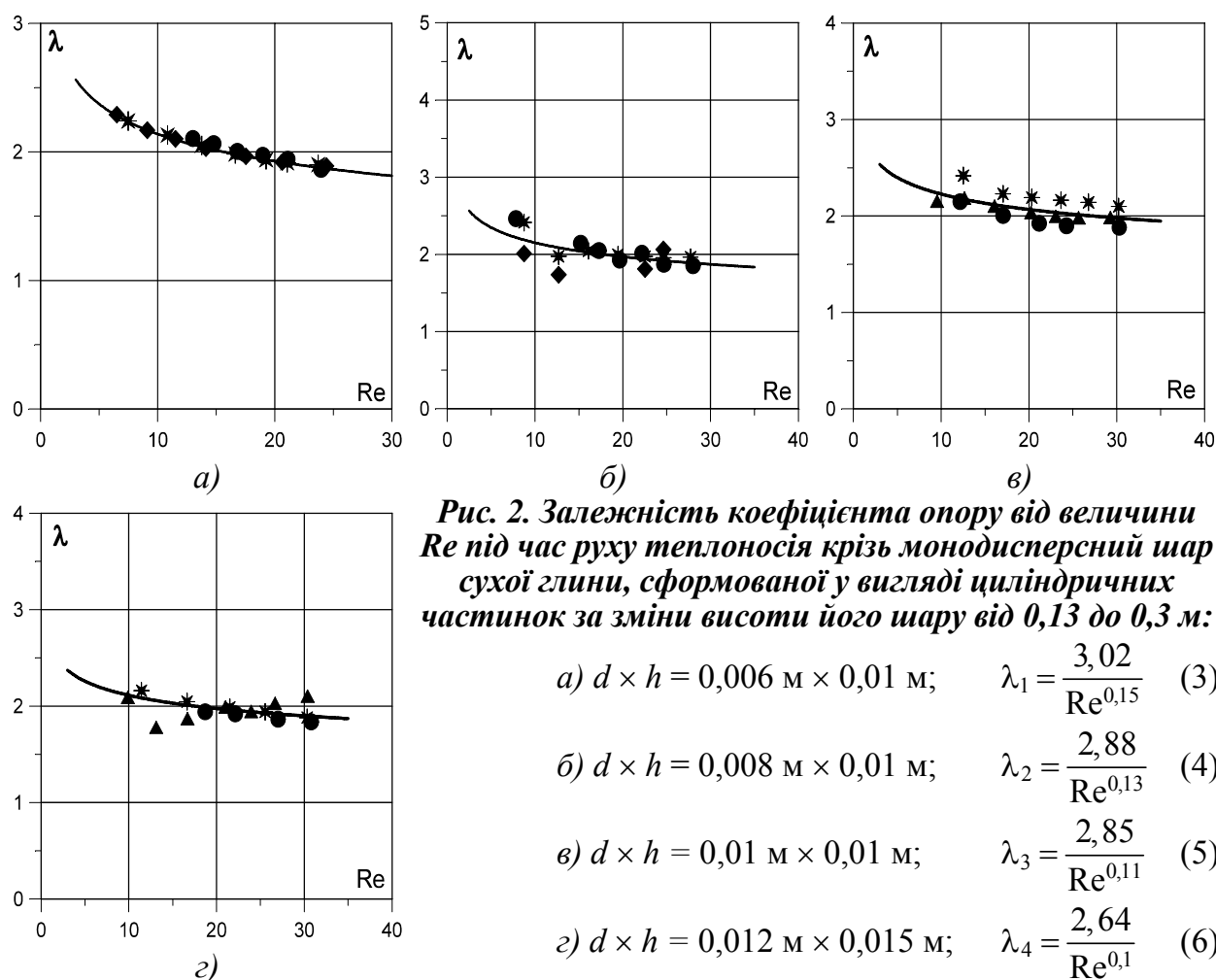
Приймаючи у загальному вигляді, значення коефіцієнта опору, можна записати [3]

$$\lambda = \frac{C}{Re^n}. \quad (2)$$

Показник степеня n величини Re з рівняння (2) залежить від режиму руху газового потоку крізь шар матеріалу [3, 4] і зменшується в межах від одиниці (в ламінарній області) до нуля (в турбулентній області).

Структура дисперсного шару в об'ємі апарата і безпосередньо біля обмежуючих його стінок дещо відрізняється. Тому висоту шару матеріалу H_{an} доцільно вибирати залежно від діаметру циліндричної частинки d , користуючись співвідношенням $H_{an} > 20 \cdot d$ [3, 4].

Для визначення залежності коефіцієнта опору від величини Re використали результати експериментальних досліджень гідравлічного опору висотою шару в межах 0,13-0,3 м (рис. 1, а криві 1-3), а також результати досліджень гідродинаміки монодисперсних шарів за змінного діаметру частинок (рис. 1, б). Узагальнення гідродинаміки монодисперсного шару у діапазоні його висот 0,02-0,06 м (рис. 1, а криві 4, 5) є недоцільним, оскільки не виконується умова $H_{an} > 20 \cdot d$.



Коефіцієнти C та показник степеня n з рівняння (2) визначено експериментально (рис. 2, а, б, в, г) для різних діаметрів циліндричних частинок, з яких утворений монодисперсний шар. Це необхідно для розрахунку коефіцієнта опору λ та гідравлічного опору ΔP шару глини, сформованої у вигляді частинок циліндричної форми різних діаметрів. На основі експериментальних досліджень визначено коефіцієнт опору (за залежністю (1)), а також величину критерію Рейнольдса.

Залежності коефіцієнта опору від величини Re з рівнянь (3)-(6) для циліндричних частинок різних діаметрів мають степеневий характер та вказують на залежність λ від діаметра. Також, встановлено, що коефіцієнт C з рівняння (2) залежить від діаметру частин.

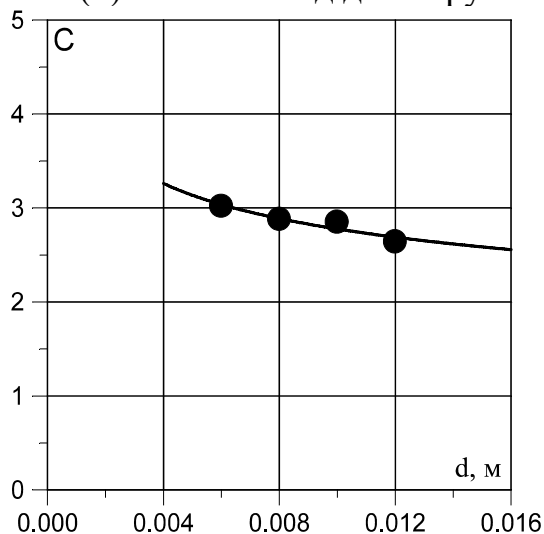


Рис. 3. Залежність $C = \psi(d)$ від діаметру циліндричних частинок матеріалу

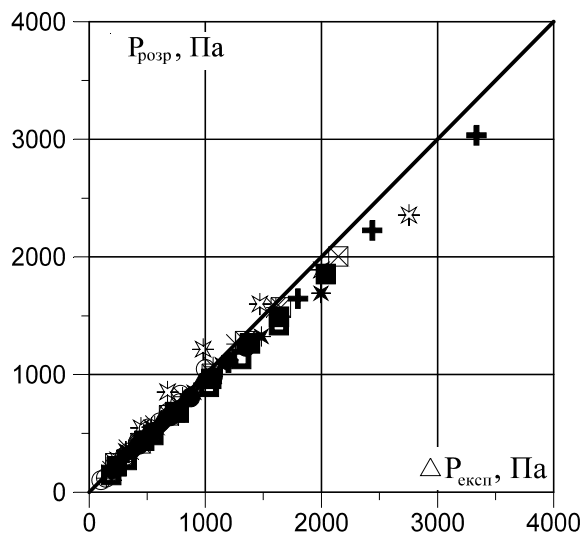


Рис. 4. Зіставлення експериментальних та розрахункових, визначених за залежністю (11), значень гідравлічного опору

На цій основі побудовано графічну залежність коефіцієнта C (з рівняння (2)) від діаметра циліндричної частинки матеріалу (рис. 3), за якою визначено:

$$C = 1,24 \cdot d^{-0,18}. \quad (7)$$

Під час аналізу рівняння (7) встановлено, що збільшення d циліндричної частинки глини призводить до зменшення коефіцієнта C . Це пояснюється тим, що внаслідок неупорядкованого укладання циліндричних частин монодисперсного шару збільшення розміру частин призводить до зростання еквівалентного діаметру каналів d_e , а, отже, і до зменшення швидкості руху теплоносія крізь монодисперсний шар.

Оскільки експериментальні дослідження з гідродинаміки проводились у перехідній області ($10 < Re < 30$), то з деяким припущенням приймаємо усереднене значення показника степеня $n = 0,13$. Тоді, враховуючи залежність (7) у досліджуваному діапазоні розмірів частинок, вираз (2) набуває вигляду:

$$\lambda = \frac{1,24 \cdot d^{-0,18}}{Re^{0,13}}. \quad (8)$$

Експериментально встановлено, що із зменшенням розміру частинок монодисперсного шару зменшується його пористість, зростає коефіцієнт опору λ , а, отже, і швидкість потоку та гідравлічний опір монодисперсного шару.

Користуючись залежностями (1), (2) та (8) величину гідравлічного опору λ монодисперсного шару можна розрахувати:

$$\Delta P = \frac{1,24}{d^{0,18} \cdot Re^{0,13}} \cdot \frac{H}{d_e} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}. \quad (9)$$

Еквівалентний діаметр каналу пов'язаний із діаметром частинки такою залежністю [3]:

$$d_e = \frac{2 \cdot \Phi \cdot \varepsilon \cdot d}{3 \cdot (1 - \varepsilon)}, \quad (10)$$

де: Φ – фактор форми; ε – порізність шару.

$$\text{Тоді,} \quad \Delta P = \frac{1,24}{d^{1,18} \cdot \text{Re}^{0,13}} \cdot \frac{3 \cdot H \cdot (1 - \varepsilon)}{4 \cdot \Phi \cdot \varepsilon} \cdot \rho \cdot \omega^2. \quad (11)$$

За результатами експериментальних даних та розрахункових, визначених за рівнянням (11), побудовано графічну залежність (рис. 4).

Варто зауважити, що реальні перепади тиску у досліджуваному шарі можуть відхилятися від розрахункових, визначених за залежністю (11), на $\pm 15\%$.

Висновок. Вивчення гідродинаміки руху газового потоку крізь монодисперсні шари глини, сформованої у вигляді циліндричних частинок змінного діаметра, дало змогу встановити вплив їх діаметра та режиму руху теплоносія на гідравлічний опір цього шару у діапазоні $10 < \text{Re} < 30$. Також, встановлено, що коефіцієнт опору λ залежить від величини Re , та d частинки. Отримано аналітичну залежність для розрахунку гідравлічного опору монодисперсного шару глини, сформованої у вигляді циліндричних частинок залежно від їх діаметра, висоти шару та швидкості руху теплоносія.

Література

1. Гузьова І.О., Ханик Я.М. Гідродинаміка фільтраційного процесу сушіння дисперсних матеріалів// Вісник ДУ "Львівська політехніка": Хімія, технологія речовин та їх застосування. – Львів: ДУ "Львівська політехніка". – 2000, № 414. – С. 168-172.
2. Ханик Я.М., Римар Т.І., Креховецький О.М. Гідродинаміка і кінетика процесу сушіння глини в щільному шарі під час ІЧ нагрівання// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2006, вип. 16.5. – С. 310-312.
3. Аэров М.Э., Толес О.М., Наринский Д.А. Аппараты со стационарным зернистым слоем. – Л.: Химия, 1979. – 176 с.
4. Чудновский А.Ф. Теплообмен в дисперсных средах. – Л.: Химия, 1979. – 436 с.

УДК 621.86.001

Проф. Є.В. Харченко, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка"; інж.-мех. О.І. Кващенко – Дрогобицький ДПУ ім. Івана Франка

РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПІДІЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ З НЕСНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ЗМІННОЇ ДОВЖИНИ

Розглядається методика математичного моделювання динамічних процесів у підіймальних пристроях, роботах і маніпуляторах з несними елементами змінної довжини.

*Prof. Ye.V. Kharchenko – NU "L'viv's'ka Politekhnik";
engineer-mechanic O.I. Kvashenko – Droboych state pedagogical
university of the name of Ivan Franco*

A calculation of dynamic processes is in jacks with the bearings elements of variable length

The methodology of mathematical modelling of the dynamic processes in robots and manipulators was considered. The analysis moves from regard the variable of length of supports the construction.