

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Присяжна Лариса Василівна

УДК 666.7(477)

ДИСЕРТАЦІЯ

РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГООЩАДНА ТЕХНОЛОГІЯ
КЛІНКЕРНИХ КЕРАМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Спеціальність 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів

161- хімічні технології та інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:

 Присяжна Л. В.

Науковий керівник:

Д.т.н., проф. Федоренко Олена Юріївна



шабанова Г.М.
18.12.2020г.

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Присяжна Л. В. Ресурсо- та енергоощадна технологія клінкерних керамічних матеріалів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалевих силікатних матеріалів. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» МОН України, Харків, 2020.

Дисертацію присвячено розробці ресурсо- та енергозберігаючої технології клінкерних керамічних виробів на основі низькосортної полімінеральної глинистої і техногенної сировини. На сьогодні запаси придатної глинистої сировини (пластичних каолініто-гідрослюдистих глин) майже вичерпані, що вимагає пошуку нових шляхів розширення сировинної бази виробництва. Показано, що висока ресурсо- та енергоємність вітчизняного виробництва клінкерної кераміки негативно позначаються на стабільності роботи підприємств та конкурентоздатності продукції на зовнішньому ринку. Визначено, що удосконалення технології має відбуватись в напрямку зменшення енерговитрат на формування, сушку та випал виробів, а також розширення сировинної бази виробництва за рахунок використання широко розповсюджених низькосортних глин і техногенних матеріалів.

В роботі теоретично обґрунтована та експериментально підтверджено можливість отримання за ресурсо- та енергоощадною технологією клінкерних керамічних матеріалів на основі полімінеральної глинистої сировини (НПГС) при використанні як інтенсифікаторів спікання та фазоутворення багатотоннажних промислових відходів.

На основі результатів дослідження складу та властивостей легкоплавких та неспікливих полімінеральних глин визначено особливості спікання різних видів НПГС у взаємозв'язку з характерними ознаками їх хімічного складу та сформульовані науково-технологічні принципи проектування сировинних сумішей на їх основі, які полягають у корегуванні їх складу з ви-

користанням техногенної сировини для досягнення потрібного з точки зору спікання вмісту та співвідношень оксидів: $\Sigma\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2/\Sigma\text{RO}+\text{R}_2\text{O}+\text{Fe}_2\text{O}_3 = 4,5\div 7,5$; $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 = 0,3\div 0,35$; $\Sigma\text{RO}+\text{R}_2\text{O}+\text{Fe}_2\text{O}_3 = 9\div 15$; $\text{RO}/\text{R}_2\text{O} = 0,2\div 0,5$; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 3,0\div 4,0$; це забезпечує отримання виробів з високощільною структурою ($W = 0,5\div 4,5 \%$) та підвищеною міцністю ($\sigma_{\text{ст}} = 30\div 70$ МПа, $\sigma_{\text{зг}} = 6\div 12$ МПа).

Встановлено ефективність використання широкого кола промислових відходів та визначена роль їх у формуванні клінкерної кераміки як інтенсифікаторів спікання (польовошпатвмісні), активаторів фазоутворення (глиноземвмісні), стимуляторів розширення спеченого стану (алюмосилікатні). За результатами оцінки флюсоуючої здатності встановлені критерії вибору відходів за характеристиками розплаву (кількість розплаву $\geq 50\%$, в'язкість $10^{3,7}\div 10^{4,5}$ Па·с, поверхневий натяг $0,26\div 0,29$ Н/м), що є умовою отримання якісної клінкерної цегли при зниженій температурі випалу (до 1100°C).

Встановлено взаємозв'язок «склад – структура – властивості» та визначено технологічні умови забезпечення нормативного рівня властивостей виробів за енергоощадних умов виробництва; розроблено науково-технологічні принципи отримання різних видів клінкерної цегли на основі НППС, які полягають у корегуванні складу технологічних сумішей з використанням техногенної сировини для досягнення необхідного вмісту основних фазоутворюючих оксидів та їх співвідношень.

Визначено особливості пластичного формування керамічних мас на основі НППС: розроблено маси, що характеризуються домінуючим розвитком повільних еластичних деформацій, здатних компенсувати напруги, які виникають під час формування бруса, що склало підстави для використання напівжорсткої екструзії.

Встановлено закономірності структуро- та фазоутворення клінкерної кераміки в умовах енергоощадного випалу: в інтервалі температур $1000\text{--}1050^\circ\text{C}$ відбувається утворення фаз муліту, герциніту, геденбергіту, які армують склофазу і підвищують міцність клінкерної цегли. При цьому кількість залишкової аморфної фази не перевищує $20\text{--}22\%$.

Визначено вплив атмосфери випалу на фазовий склад та відтінки кольору

клинкерних виробів; окреслені межі варіювання співвідношень фазоутворюючих оксидів для формування комплексу кольоротвірних фаз і отримання виробів базової палітри кольорів клинкерної кераміки: коричневого (гематит $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, магнетит $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$, брауніт $\text{Mn}^{2+}\text{Mn}_2^{3+}\text{SiO}_{12}$, гаусманіт $\text{Mn}^{2+}\text{Mn}_2^{3+}\text{O}_4$, герциніт $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2\text{O}_4$), теракотового (гематит $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, магнетит $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$, геденбергіт $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$), бежевого (гематит $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, геденбергіт $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$) та жовтого (рутил TiO_2). Отримані відомості дозволяють отримати бажаний колір клинкерних керамічних виробів за рахунок спрямованого утворення кристалічних фаз, які обумовлюють забарвлення кераміки залежно від окислювально-відновлювальних умов випалу виробів.

Реалізація резервів ресурсо- та енергоощадження на основних етапах виробництва клинкерної кераміки дозволила розробити рецептурно-технологічні параметри для виготовлення керамічного клинкеру високої марочності (М 300–700) з використанням напівжорсткої екструзії напівфабрикату при зниженій на 50–100 °С температурі випалу.

На виробничій лінії ТзОВ «Кермейя» проведено дослідно-промислові випробування, за результатами яких розроблені склади керамічних мас впроваджені у виробництво стінової клинкерної цегли та бруківки. Використання розробок виключає сировинну залежність виробництв клинкерної кераміки та знижує виробничі енерговитрати. Проведені техніко-економічні розрахунки показали, що клинкерна цегла, отримана з використанням розробленої ресурсо- та енергоощадної технології, є дешевшою в 1,5–2 рази порівняно з аналогічними за якістю виробами провідних європейських брендів (*Vandersanden, Roben, Feldhausklinker, Terca wienerberger*).

Результати досліджень впроваджені у навчальний процес кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХП» при викладанні дисциплін «Виробництво кераміки і вогнетривів», «Ресурсо- та енергозбереження в технології тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів», а також при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю 05130104 «Хімічні технології тугоплавких неметалічних і силікатних матеріалів».

Ключові слова: полімінеральні глини, багатотоннажні промислові відходи, клінкерна цегла, інтенсифікатори спікання та фазоутворення, процеси фазо- та кольороутворення, резерви енергозбережень окислювальний та відновлювальний випал.

СПИСОК ОСНОВНИХ ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Федоренко О. Ю., Рищенко М. І., Щукіна Л. П., Присяжна Л. В.: Клінкерні керамічні матеріали на основі природної і техногенної сировини України: монографія. Харків: ТОВ «Планета Прінт», 2018. 185с.

2. Федоренко О. Ю., Рищенко М. І., Присяжна Л. В. Технологічні аспекти підвищення якості клінкерних керамічних матеріалів. *Збірник наукових праць ПАТ УкрНДІ Вогнетривів ім. А.С. Бережного*. 2011 .№ 111. С. 199–207.

3. Федоренко О. Ю., Рищенко М. І., Присяжна Л. В., Токарев А. В. Клінкерні керамічні вироби з використанням базальтових туфів. *Збірник наукових праць ПАТ УкрНДІ Вогнетривів ім. А.С. Бережного*. 2012. № 112. С. 238–243.

4. Присяжна Л. В., Федоренко О. Ю., Дьяков С С., Гопта А. Ю. Технологічні принципи отримання керамічного клінкеру на основі важкоспікливої глинистої сировини. *Збірник наукових праць ПАТ УкрНДІ Вогнетривів ім. А.С. Бережного*. 2013. № 113. С. 179–185.

5. Федоренко О. Ю., Рищенко М. І., Присяжна Л. В. Технологія, структура та властивості керамічного клінкеру для брукування доріг. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. Харків, 2013. Вип. 136. С. 172–176.

6. Федоренко О. Ю., Рищенко М. І., Присяжна Л. В. Енергощадна технологія клінкерних керамічних виробів дорожнього призначення. *Науковий вісник будівництва*. Харків, 2013. Вип. 72. С. 254–259.

7. Рыщенко М. И., Федоренко Е. Ю., Присяжная Л. В., Дайнеко Е. Б, Питак О. Я. Ресурсо- и энергосбережение при производстве клинкерных керамических материалов. *Екологія і промисловість*. 2016. № 2. С. 78–86.

8. Рыщенко М. И., Федоренко Е. Ю., Присяжная Л. В. Розробка мас для отримання клінкерної кераміки широкої кольорової гами. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Харків, 2016. Вип. 22 (1194) С. 204 – 208.

9. Федоренко Е. Ю., Рыщенко М. И., Богданова Е. Б., Присяжная Л. В. Использование отходов добычи минерального сырья в качестве интенсификатора спекания в технологии плотнospеченной строительной керамики. *Екологія і промисловість*. 2018. № 1. С. 98– 106.

10. Fedorenko E., Prysiazhna L., Petrov S., Chyrkina M., Borysenko O. Investigation of the physicochemical regularities of the color and phase formation processes of clinker ceramic materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 8, № 6 (96). P. 58 – 65

11. Керамічна маса для виготовлення дорожнього клінкеру: пат. 94329 Україна: МПК С04В 33/00. № u201405603; заявл. 26.05.2014; опубл. 10.11.2014, Бюл. № 21.

12. Керамічна маса для виготовлення стінового клінкеру: пат. 94328 Україна, МПК С04В 33/00. №u201405602; заявл.26.05.2014; опубл.10.11.2014, Бюл. № 21.

13. Присяжна Л. В., Федоренко О. Ю., Вернигора К. П., Руденко Л. В. Перспективи використання глинистої сировини Верхньосируватського родовища для виготовлення щільноспечених будівельних матеріалів. *Современные технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*: II Міжнар. конфер. студентів, аспірантів та молодих вчених: матер. конфер.(м. Харків, 23–24 берез. 2011 р). Харків: НТУ «ХПІ», 2011. С.13–14.

14. Присяжная Л. В., Федоренко Е. Ю., Вернигора К. П., Руденко Л. В. Использование техногенного сырья в производстве клинкерных строительных материалов. *Хімічні проблеми сьогодення*: V Всеукраїн. наук. конфер. студентів, аспірантів та молодих вчених з міжнародною участю: тез. доп. (м. Донецьк, 14–17 берез. 2011 р.). Донецьк: Донецький національний університет, 2011. С. 144.

15. Федоренко О. Ю., Рищенко М. И., Присяжна Л. В. Технологічні аспекти покращення якості клінкерних керамічних матеріалів. *Технология и применение ог-*

неупоров и технической керамики в промышленности: тез. докл. Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Харків, 26–27 квіт. 2011 р.). Харків: Каравелла, 2011. С. 58–59.

16. Рищенко М. И., Федоренко О. Ю., Присяжна Л. В., Руденко Л. В., Вернигора К. П. Фазовые превращения при термообработке базальтовых туфов и их влияние на спекание клинкерных керамических изделий. *Технология и применение огнеупоров и технической керамики в промышленности*: тез. докл. Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Харків, 24–25 квіт. 2012р.). Харків: Каравелла, 2012. С. 58–59.

17. Присяжна Л., Федоренко О., Гопта А. Шляхи інтенсифікації процесів спікання та фазоутворення при виробництві клінкерної цегли з некондиційних глин. *Львівські хімічні читання–2013*: збір. наук. праць XIV Наук. конф. (м. Львів, 26–29 трав. 2013 р.). Львів: Львівський НТУ ім. І. Франка, 2013. С. Т6.

18. Федоренко О. Ю., Присяжна Л. В., Щукіна Л. П., Гопта А. Ю. Технологічні аспекти термообробки керамічного клінкеру на основі полімінеральних глин. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: XXII Міжнар. наук.-практ. конф Ч. II (м. Харків, 29–31 трав.2013 р.). Харків. НТУ «ХП», 2013 С. 276.

19. Федоренко О. Ю., Присяжна Л. В., Гопта А. Ю. Клінкерні керамічні матеріали на основі полі мінеральної глинистої сировини. *Технология и применение огнеупоров и технической керамики в промышленности*: тез. докл. Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Харків, 16–17 квіт. 2013 р.). Харків: Каравелла, 2013. С. 52–53.

20. Присяжна Л. В., Федоренко О. Ю., Рищенко М. І., Гопта А. Ю., Цовма В. В. Дослідження процесів фазо- та кольороутворення клінкерної кераміки. *Інформаційні технології : наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: XXII Міжнар. наук.-практ. конф Ч. II. (м. Харків, 15–17 жовт. 2014 р.). Харків–Мішкольц. НТУ «ХП», 2014. С. 295.

21. Присяжная Л. В., Рыщенко М. И., Федоренко Е. Ю., Гопта А. Ю. Получение клинкерных керамических материалов с использованием техногенного сырья. *Технология и применение огнеупоров и технической керамики в промышленности*: тез. докл. Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Харків, 29–30 квіт. 2014 р.). Харків: Каравелла, 2014. С. 71

22. Федоренко О. Ю., Присяжная Л. В., Гопта А. Ю., Вернигора К. П., Руденко Л. В. Стеновой и дорожный клинкер на основе легкоплавких глин и техногенных отходов. *Новейшие достижения в области инновационного развития в химической промышленности и производстве строительных материалов*: матер. Междунар. науч.-техн. конф. (г. Минск, 18–19 нояб. 2015г.) Минск: БГТУ, 2015. С. 47–50.

23. Федоренко О. Ю., Присяжна Л. В., Гопта А. Ю., Вернигора К. П., Руденко Л. В. Клінкерні керамічні вироби на основі глинистої сировини Харківського ярусу / *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: XXIII Міжнар. наук.-практ. конф Ч. II. (г. Харків, 20–22 трав. 2015 р.). Харків–Мішкольц: НТУ «ХП», 2015. С. 228.

24. Федоренко О. Ю., Присяжна Л. В. Фізико-хімічні закономірності кольороутворення клінкерних керамічних виробів. *Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (г. Харків, 7–8 листоп. 2019 р.) Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. С. 125.

ABSTRACT

Prysyazhna L.V. Resource- and energy saving technology of clinker ceramic materials. – Qualification scientific work as manuscript.

The thesis for science degree of the candidate of science in technology by speciality 05.17.11 – technology of refractory non-metal silicate materials. – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" MES of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The thesis is devoted to development of resource- and energy saving technology of production of clinker ceramics materials on the basis of low-grade polymineral clay and technogenic materials. Presently, the reserves of suitable clay materials (plastic kaolinite-hydro-mica clays) are almost depleted, which requires finding new ways of expanding the raw material base of clinker brick production. It has been shown that high resource and energy intensity of domestic production of clinker brick affect adversely for stability of the enterprises and the competitiveness of products in the foreign market. It has been determined that the improvement of the technology should take place in the direction of reducing energy consumption for molding, drying and firing of products, as well as expanding the raw material base of production using low-grade clays and high-tonnage industrial waste.

The possibility of obtaining the energy-efficient technology of clinker ceramic materials on the basis of low-grade polymineral clay material (LPCM) has been theoretically substantiated and experimentally confirmed at using technogenic materials as sintering and phase-forming intensifiers.

The features of sintering of different types of LPCM in connection with the characteristic features of their chemical composition have been determined on the base on the results of the investigation of the composition and properties of fusible and non-fusible polymineral clays. The scientific and technological principles of designing raw mixtures based on them have been formulated, which are to adjust their composition with the use of technogenic raw materials to achieve the required sintering content and ratio of oxides:

$\Sigma\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2/\Sigma\text{RO}+\text{R}_2\text{O}+\text{Fe}_2\text{O}_3 = 4,5\div 7,5$; $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 = 0,3\div 0,35$; $\Sigma\text{RO}+\text{R}_2\text{O}+\text{Fe}_2\text{O}_3 = 9\div 15$; $\text{RO}/\text{R}_2\text{O} = 0,2\div 0,5$; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} 3,0\div 4,0$, which provides to get the materials with high-density structure ($W = 0,5\div 4,5$ %) and increased strength ($\sigma_{\text{cr}} = 30\div 70$ MPa, $\sigma_{3r} = 6\div 12$ MPa);

The efficiency of use of a wide range of industrial wastes has been established and the role in the formation of clinker ceramics has been determined: as sintering intensifiers (field-spatulas), phase-forming activators (alumina-containing), sintered expanders (aluminosilicate). According to the results of fluctuating ability estimation, waste selection criteria based on melt characteristics (melt quantity $\geq 50\%$, viscosity $10^{3,7}\div 10^{4,2}$ Pa · s, surface tension $0,25\div 0,3$ N/m) have been established, which is a condition to obtain clinker bricks at low firing temperature (to 1100 ° C);

The relationship "composition - structure - properties" have been established and technological conditions for ensuring the standard level of product properties under energy - saving conditions of production have been defined. Scientific and technological principles of obtaining different types of clinker bricks based on LPCM have been developed, which consist in adjusting the composition of technological mixtures with the use of technogenic raw materials to achieve the required content and proportions of oxides.

The peculiarities of plastic molding of ceramic masses based on LPCM have been defined: the developed masses are characterized by the dominant development of slow elastic deformations which are capable of compensating the stresses that arise during the formation of the beam. It was the basis for the use of semi-rigid extrusion.

The regularities of the structure and phase formation of clinker ceramics in the conditions of energy-saving firing have been established: the formation of phases of mullite, hercinite, hedenbergite which reinforce fiberglass and increase the strength of clinker brick are established at the temperature range $1000-1050$ °C. The amount of residual amorphous phase does not exceed $20-22\%$. The influence of the firing atmosphere on the phase composition and color shades of the products have been determined. The interface of variation of the ratio of phase-forming oxides to form a complex of color-forming phases and to obtain products of the basic color palette of

clinker ceramics have been determined: (hematite $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, magnetite $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$, brunite $\text{Mn}^{2+}\text{Mn}^{3+}_6\text{SiO}_{12}$, gausmanite $\text{Mn}^{2+}\text{Mn}_2^{3+}\text{O}_4$, hercynite $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2\text{O}_4$), terracotta (hematite $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, magnetite $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$, hedenbergite $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$), beige (hematite $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, hedenbergite $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$) and yellow (rutile TiO_2). The obtained data allows to obtain the desired color of clinker ceramic products due to the directional formation of crystalline phases, which determine the color of the ceramics, depending on the redox conditions of firing products.

The recipe-technological parameters have been developed due to the realization of energy saving reserves at the main stages of production. These parameters allow to produce a high-grade ceramic clinker (M 300-700) using semi-rigid semi-finished extrusion at a firing temperature reduced by 50-100 ° C.

The pilot-scale industrial tests were carried out at the production line of LLC "Kermeya", as a result of which compound formulations were introduced into the production of wall clinker bricks and paving stones. The use of development eliminates the raw material dependency of the production of clinker ceramics and reduces the production costs. Technico-economic calculations showed that facade, pavement and road clinker brick obtained using the developed recipe-technological parameters will be cheaper in 1.5-2 times compared with similar products of leading European brands (*Vandersanden, Roben, Feldhausklinker, Terca wienerberger*).

The results of the researches have been introduced into the educational process of the department of technology of ceramics, refractories, glass and enamels of NTU "KPI" at teaching the disciplines "Production of ceramics and refractories", "Resources and energy-saving in refractory non-metallic and silicate materials", and also at preparation of bachelors degree and masters degree in specialty 05130104 "Chemical technologies of refractory non-metallic and silicate materials".

Keywords: polymineral clays, multiton industrial waste, clinker brick, sintering and phase-forming intensifiers, phase- and colorforming processes, energy-saving reserves oxidizing and reducing firing.

LIST OF PUBLISHED WORKS BY DISSERTATION TOPIC:

1. Fedorenko O. Yu., Ryshchenko M. I., Shchukina L. P., Prysiazhna L. V.: Klinkerni keramichni materialy na osnovi pryrodnoi i tekhnohennoi syrovyny Ukrainy: monohrafiia. Kharkiv: TOV «Planeta Print», 2018. 185s.
2. Fedorenko O. Yu., Ryshchenko M. I., Prysiazhna L. V. Tekhnolohichni aspekty pidvyshchennia yakosti klinkernykh keramichnykh materialiv. *Zbirnyk naukovykh prats PAT UkrNDI Vohnetryviv im. A.S. Berezhnoho*. 2011 .№ 111. S. 199–207.
3. Fedorenko O. Yu., Ryshchenko M. I., Prysiazhna L. V., Tokarev A. V. Klinkerni keramichni vyroby z vykorystanniam bazaltovykh tufiv. *Zbirnyk naukovykh prats PAT UkrNDI Vohnetryviv im. A.S. Berezhnoho*. 2012. № 112. S. 238–243.
4. Prysiazhna L. V., Fedorenko O. Yu., Diakov S S., Hopta A. Yu. Tekhnolohichni pryntsyipy otrymannia keramichnoho klinkeru na osnovi vazhkospiklyvoi hlynystoi syrovyny. *Zbirnyk naukovykh prats PAT UKRNDI VOHNETRYVIV IM. A. S. BEREZHNOHO*. 2013. № 113. S. 179–185.
5. Fedorenko O. Yu., Ryshchenko M. I., Prysiazhna L. V. Tekhnolohiia, struktura ta vlastyvoli keramichnoho klinkeru dlia brukuvannia dorih. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu*. Kharkiv, 2013. Vyp. 136. S. 172–176.
6. Fedorenko O. Yu., Ryshchenko M. I., Prysiazhna L. V. Enerhoshchadna tekhnolohiia klinkernykh keramichnykh vyrobiv dorozhnoho pryznachennia. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. Kharkiv, 2013. Vyp. 72. S. 254–259.
7. Ryshchenko M. I., Fedorenko E. Yu., Prisyazhnaya L. V., Dayneko E. B., Pitak O. Ya. Resurso- i energosberezheniye pri proizvodstve klinkernykh keramicheskikh materialov. *Ekologiya i promislovist*. 2016. № 2. S. 78?86.
8. Ryshchenko M. I., Fedorenko E. Yu., Prisyazhnaya L. V. Rozrobka mas dlia otrymannia klinkerno keramiky shyrokoj kolorovoi hamy. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Kharkiv, 2016. Vyp. 22 (1194) C. 204 – 208.
9. Fedorenko E. Yu., Ryshchenko M. I., Bogdanova E. B., Prisyazhnaya L.V. Ispolzovaniye otkhodov dobychi mineralnogo silia v kachestve intensifikatora

spekaniya v tekhnologii plotnospechennoy stroitelnoy keramiki. *Ekologiya i promislolist*. 2018. № 1. S. 98– 106.

10. Fedorenko E., Prysiazhna L., Petrov S., Chyrkina M., Borysenko O. Investigation of the physicochemical regularities of the color and phase formation processes of clinker ceramic materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 8, № 6(96). P. 58 – 65

11. Keramichna masa dlia vyhotovlennia dorozhnoho klinkeru: pat. 94329 Ukraina: MPK S04V 33/00. № u201405603; zaiavl. 26.05.2014; opubl. 10.11.2014, Biul. № 21

12. Keramichna masa dlia vyhotovlennia stinovoho klinkeru: pat. 94328 Ukraina, MPK S04V 33/00. №u201405602; zaiavl.26.05.2014; opubl.10.11.2014, Biul. № 21.

13. Prysiazhna L. V., Fedorenko O. Yu., Vernyhora K. P., Rudenko L. V. Perspektyvy vykorystannia hlynystoi syrovyny Verkhnosyruvatskoho rodovyshcha dlia vyhotovlennia shchilnospechennykh budivelnykh materialiv. *Sovremennyye tekhnolohyy tuhoplavkykh nemetallycheskykh y sylykatnykh materyalov: II Mizhnar. konfer. studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh: mater. konfer.(m. Kharkiv, 23–24 berez. 2011 r.)*. Kharkiv: NTU «KhPI», 2011. S.13–14.

14. Prysiazhnaia L. V., Fedorenko E. Yu., Vernyhora K. P., Rudenko L. V. Ispolzovaniye tekhnogenogo syria v proizvodstve klinkernykh stroitelnykh materialov *Khimichni problemy sohodennia: V Vseukrain. naukiu konfer. studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh z mizhnarodnoiu uchastiu: tez. dop. (m. Donetsk, 14–17 berez. 2011 r.)*. Donetsk: Donetskyi natsionalnyi universytet, 2011. S. 144.

15. Fedorenko O. Yu., Ryshchenko M. Y., Prysiazhna L. V. Tekhnolohichni aspekty pokrashchennia yakosti klinkernykh keramichnykh materialiv. *Tekhnologiya i primeneniye ogneuporov i tekhnicheskoy keramiki v promyshlennost: tez. dokl. Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. (m. Kharkiv, 26–27 kvit. 2011 r.)*. Kharkiv: Karavella, 2011. S. 58–59.

16. Ryshchenko M. Y., Fedorenko O. Yu., Prysiazhna L. V., Rudenko L. V., Vernyhora K. P. Fazovyie prevrashcheniya pri termoobrabotke bazaltovykh tufov i ikh vliyaniye na spekaniye klinkernykh keramicheskikh izdeliy. *Tekhnologiya i primeneniye ogneuporov i tekhnicheskoy keramiki v promyshlennosti: tez. dokl.*

Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. (m. Kharkiv, 24–25 kvit. 2012r.). Kharkiv: Karavella, 2012. S. 58–59.

17. Prysiazhna L., Fedorenko O., Hopta A. Shliakhy intensyfikatsii protsesiv spikannia ta fazoutvorennia pry vyrobnytstvi klinkernoi tsehly z nekondytsiinykh hlyn. *Lvivski khimichni chytannia–2013: zbir. nauk. prats XIV Nauk. konf. (m. Lviv, 26–29 trav. 2013 r.)*. Lviv: Lvivskiy NTU im. I. Franka, 2013. S. T6.

18. Fedorenko O. Yu., Prysiazhna L. V., Shchukina L. P., Hopta A. Yu. Tekhnolohichni aspekty termoobrobky keramichnoho klinkeru na osnovi polimineralnykh hlyn. *Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: KhKhII Mizhnar. nauk.-prakt. konf Ch. II (m. Kharkiv, 29–31 trav.2013 r.)*. Kharkiv . NTU «KhPI», 2013 S. 276.

19. Fedorenko O. Yu., Prysiazhna L. V., Hopta A. Yu. Klinkerni keramichni materialy na osnovi poli mineralnoi hlynystoi syrovyny. . *Tekhnologiya i primeneniye ogneuporov i tekhnicheskoy keramiki v promyshlennosti: tez. dokl. Mizhnar. nauk.-tekhn. konf.(m. Kharkiv, 16–17 kvit. 2013 r.)*. Kharkiv: Karavella, 2013. S. 52–53.

20. Prysiazhna L. V., Fedorenko O. Yu., Ryshchenko M. I., Hopta A. Yu., Tsovma V. V. Doslidzhennia protsesiv fazo- ta koloroutvorennia klinkernoi keramiky. *Informatsiini tekhnolohii : nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: KhKhII Mizhnar. nauk.-prakt. konf Ch. II. (m. Kharkiv, 15–17 zhovt. 2014 r.)*. Kharkiv–Mishkolts. NTU «KhPI», 2014. S. 295.

21. Prisyazhnaya L. V., Ryshchenko M. I., Fedorenko E. Yu., Gopta A. Yu. Polucheniye klinkernykh keramicheskikh materialov s ispolzovaniyem tekhnogenogo syria. *Tekhnologiya i primeneniye ogneuporov i tekhnicheskoy keramiki v promyshlennosti: tez. dokl. Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. (m. Kharkiv, 29–30 kvit. 2014 r.)*. Kharkiv: Karavella, 2014. S. 71

22. Fedorenko O. Yu., Prisyazhnaya L. V., Gopta A. Yu., Vernigora K. P., Rudenko L. V. Stenovoy i dorozhnyy klinker na osnove legkoplavkikh glin i tekhnogennikh otkhodov. *Noveyshiye dostizheniya v oblasti innovatsionnogo razvitiya v khimicheskoy promyshlennosti i proizvodstve stroitelnykh materialov: mater. Mezhdunar. nauk.-tekhn. konf. (g. Minsk. 18–19 noyab. 2015g.)* Minsk: BGTU.

2015. S. 47–50.

23. Fedorenko O. Yu., Prysiazhna L. V., Hopta A. Yu., Vernyhora K. P., Rudenko L. V. Klinkerni keramichni vyroby na osnovi hlynystoi syrovyny Kharkivskoho yarusu / *Informatsiini tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: KhKhIII Mizhnar. nauk.-prakt. konf Ch. II.* (h. Kharkiv, 20–22 trav. 2015 r.). Kharkiv–Mishkolts: NTU «KhPI», 2015. S. 228.

24. Fedorenko O. Yu., Prysiazhna L. V. Fyzyko-khimichni zakonomirnosti koloroutvorennia klinkernykh keramichnykh vyrobiv. *Aktualni pytannia khimii ta intehrovanykh tekhnologii: materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* (h. Kharkiv, 7–8 lystop. 2019 r.) Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova, 2019. S. 125.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....	12
1.1 Аналіз ринку клінкерної керамічних виробів та сучасний стан виробництва	12
1.2 Класифікація керамічного клінкеру за його характеристиками.....	17
1.3 Теоретичні передумови отримання щільноспечених керамічних матеріалів ..	19
1.3.1 Фактори, що визначають інтенсивність процесів формування щільноспеченої кераміки	19
1.3.2 Фактори, що обумовлюють кольороутворення кераміки	23
1.4 Основні напрямки удосконалення технології керамічного клінкеру.....	28
1.4.1 Шляхи зменшення виробничих енергозатрат	28
1.4.2 Перспективи використання техногенної сировини у виробництві клінкерної кераміки.....	30
1.4.3 Напрямки розвитку технологічних прийомів забарвлення клінкерних виробів	33
1.5 Сучасні розробки в області створення клінкерної кераміки	38
1.6 Висновки за літературним оглядом. Вибір напрямку досліджень	41
РОЗДІЛ 2. СИРОВИННІ МАТЕРІАЛИ. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	44
2.1 Характеристика сировинних матеріалів	44
2.2 Технологія виготовлення лабораторних зразків	47
2.3 Методики теоретичних досліджень	47
2.4 Методики експериментальних досліджень та апаратура	49
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ ТА КЕРАМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НИЗЬКОСОРТНИХ ГЛИН І ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ	57
3.1 Дослідження полімінеральних глин різних типів	57
3.2 Техногенна сировина та її технологічні перспективи.....	75
3.2.1 Відходи видобування та механічної обробки гранітів та сієнітів.....	77
3.2.2 Відходи видобування та переробки базальтових туфів.....	81

3.2.3 Відходи збагачення пегматитів і титано-цирконових руд.....	85
3.2.4 Відходи видобування кам'яного вугілля	88
3.2.5 Відходи феротитанового виробництва.....	93
3.3 Критерії вибору сировинних матеріалів для отримання клінкерної кераміки	95
3.4 Висновки за розділом 3.....	98
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ КЛІНКЕРНОЇ ЦЕГЛИ НА ЗАСАДАХ	
РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ.....	
4.1 Технологічні резерви енергоощадження у виробництві керамічного клінкеру.....	100
4.1.1 Потенціал енергоощадження при формуванні та сушці напівфабрикатів.....	100
4.1.2 Визначення способів прискорення процесів формування щільноспечених матеріалів	107
4.2 Розробка сировинних композицій на основі низькосортних полімінеральних глин з використанням техногенних матеріалів.....	111
4.2.1 Технологічні принципи проектування керамічних мас.....	111
4.2.2 Керамічні маси на основі неспікливих глин, модифіковані відходами збагачення пегматитів.....	115
4.2.3 Керамічні маси зна основі легкоплавких глин та відходів видобування базальтових туфів.....	117
4.2.4 Керамічні маси з використанням відсівів порід лужноземельних та лужних сієнітів.....	120
4.2.5 Керамічні маси з відходами феротитанового виробництва.....	126
4.3 Використання відходів вуглевидобування як основи для отримання керамічного клінкеру.....	132
4.4 Розробка принципів отримання клінкерних керамічних матеріалів основної кольорової гами.....	136
4.4.1 Проектування мас для одержання забарвлених в масі клінкерних виробів	136

4.4.2 Дослідження закономірностей кольоро- і фазоутворення в умовах окислювального та відновлювального випалу клінкерної кераміки.....	141
4.5 Висновки за розділом 4.....	146
РОЗДІЛ 5 ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	
ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	
5.1 Дослідно-промислові випробування.....	148
5.2 Впровадження результатів роботи в навчальний процес.....	152
5.3 Висновки за розділом 5.....	152
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	154
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	157
Додаток А. Акт випробування та впровадження технології клінкерної цегли з використання техногенної сировини.....	178
Додаток Б. Розрахунок економічного ефекту від впровадження результатів дисертаційної роботи.....	181
Додаток В. Довідка про впровадження матеріалів дисертаційної роботи в практику навчального процесу	186
Додаток Д. Патенти на корисні моделі.....	187
Додаток. Е. Список основних публікацій здобувача.....	189