

УДК 691.175.327:620.1

DOI: 10.30838/P.CMM.2415.200418.54.7

ВНУТРІШНІ НАПРУГИ В ФУРАНОВИХ КОМПОЗИТАХ І ШЛЯХИ ЇХ РЕЛАКСАЦІЇ

БЕРЕЗЮК А. М.¹, *к.т.н., проф.*,
ПАПІРНИК Р. Б.², *к.т.н., доц.*,
ГАННИК М. І.³, *к.т.н., доц.*,
МАРТИШ О. П.⁴, *к.т.н., доц.*,
ОГДАНСЬКИЙ І. Ф.⁵, *к.т.н., доц.*,
ГАЙДАР А. М.⁶, *асистент*

¹ кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: berezruk@mail.pgasa.dp.ua,

² кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, +38 (0652) 47-02-98, e-mail: prb@mail.pgasa.dp.ua.

³ кафедра технології будівельного виробництва Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: gannik50@mail.ru.

⁴ кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: martysh55@mail.ru.

⁵ кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: ogd55@mail.ru.

⁶ кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: nastuel_gaidar@ukr.net

Анотація. Мета. Дослідити шляхи напруги в фуранових композитах і шляхи їх релаксації. **Методика.** Створення надмолекулярних структур за рахунок введення синтаміда, яке в свою чергу призводить до значного зменшення внутрішньої напруги в полімер-розчині при збільшенні адгезії і міцності на розрив наповненою композиції. **Результати.** Встановлено вплив основних структуроутворюючих факторів (відношення p/n , величини коефіцієнта розсування зерен крупного заповнювача (δ) і товщини полімерзв'язуючого шару (g) на характеристики міцності фуранового полімербетона. **Наукова новизна.** Встановлено вплив виду та концентрації поверхнево-активних речовин на характеристики міцності фуранових композицій з різними наповнювачами, які мають екстремальне значення при наповненні з кварцовою борошно - 0,1 -0,2%, змочувач ДБ і ОП - 4 - при концентрації 0,5 -0,75%). **Практична значимість.** Швидкість протікання релаксаційних процесів (відповідно, швидкість процесів структуроутворення) можна регулювати введенням в фуранові композити поверхнево-активних речовин.

Ключові слова: фуранові композити, внутрішня напруга, релаксаційні процеси, сітчаста структура, синтамід

ВНУТРЕННИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ФУРАНОВИХ КОМПОЗИТАХ И ПУТИ ИХ РЕЛАКСАЦИИ

БЕРЕЗЮК А. Н.¹, *к.т.н., проф.*,
ПАПИРНИК Р. Б.², *к.т.н., доц.*,
ГАННИК Н. И.³, *к.т.н., доц.*,
МАРТЫШ А. П.⁴, *к.т.н., доц.*,
ОГДАНСКИЙ И. Ф.⁵, *к.т.н., доц.*,
ГАЙДАР А. М.⁶, *асистент*

¹ кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: berezruk@mail.pgasa.dp.ua,

² кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: prb@mail.pgasa.dp.ua.

³ кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: gannik50@mail.ru.

⁴ кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: martvsh55@mail.ru.

⁵ кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: ogd55@mail.ru.

⁶ кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: nastuel_gaidar@ukr.net.

Аннотация. Цель. Исследовать пути напряжения в фурановых композитах и пути их релаксации. **Методика.** Создание надмолекулярных структур за счет введения синтамида, которое в свою очередь приводит к значительному уменьшению внутренних напряжений в полимер-растворе при увеличении адгезии и прочности на разрыв наполненной композиции. **Результаты.** Установлено влияние основных структурообразующих факторов (отношение п / н, величины коэффициента раздвижения зерен крупного заполнителя (δ) и толщины полимерсвязующего слоя (g) на прочностные характеристики фуранового полимербетона. **Научная новизна.** Установлено влияние вида и концентрации поверхностно-активных веществ на прочностные характеристики фурановых композиций с различными наполнителями, которые имеют экстремальное значение при наполнении из кварцевой муки - 0,1 -0,2%, смачиватель ДБ и ОП - 4 - при концентрации 0,5 -0,75%). **Практическая значимость.** Скорость протекания релаксационных процессов (соответственно, скорость процессов структурообразования) можно регулировать введением в фурановые композиты поверхностно-активных веществ.

Ключевые слова: фурановые композиты, внутреннее напряжение, релаксационные процессы, сетчатая структура, синтамид

INTERNAL VOLTAGE IN FURAL COMPOSITES AND THEIR RELAXATION WAYS

BEREZUK A. N.¹, *PhD., Professor*,
PAPIRNUK R. B.², *PhD., Assistant Professor*,
GANNIK N. I.³, *PhD., Assistant Professor*,
MARTUSH A. P.⁴, *PhD., Assistant Professor*,
OGDANSKIY I. F.⁵, *PhD., Assistant Professor*,
GAIDAR A. N.⁶, *Assistant*.

¹ department of technology of building production, State Higher Educational Institution "Pridneprovsk State Academy of Construction and Architecture", st. Chernyshevskogo, 24-a, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, phone +38 (0652) 47-02-98, e-mail: berezuk@mail.pgasa.dp.ua,

² department of technology of building production, State Higher Educational Institution "Pridneprovsk State Academy of Construction and Architecture", st. Chernyshevskogo, 24-a, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, phone +38 (0652) 47-02-98, e-mail: prb@mail.pgasa.dp.ua.

³ department of technology of building production, State Higher Educational Institution "Pridneprovsk State Academy of Construction and Architecture", st. Chernyshevskogo, 24-a, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, phone +38 (0652) 47-02-98, gannik50@mail.ru.

⁴ department of technology of building production, State Higher Educational Institution "Pridneprovsk State Academy of Construction and Architecture", st. Chernyshevskogo, 24-a, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, phone +38 (0652) 47-02-98, e-mail: martvsh55@mail.ru.

⁵ department of technology of building production, State Higher Educational Institution "Pridneprovsk State Academy of Construction and Architecture", st. Chernyshevskogo, 24-a, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, phone +38 (0652) 47-02-98, e-mail: ogd55@mail.ru.

⁶ department of technology of building production, State Higher Educational Institution "Pridneprovsk State Academy of Construction and Architecture", st. Chernyshevskogo, 24-a, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, phone +38 (0652) 47-02-98, e-mail: nastuel_gaidar@ukr.net

Summary. Aim. Investigation of the stress distribution in furan composites and the methods of their relaxation. **Methodology.** Introduction of the synthamide leads to the development of supramolecular structures, which results in a significant decrease of internal stresses in the polymer solution and enhances the adhesion and the tensile strength of the filled composition. **Results.** We determine the influence of the main structure-forming factors (i.e., the ratio p/o, the coefficient of the grain expansion of a large

aggregate (δ), the thickness of the polymer-bonding layer (g) on the strength properties of the furan polymer concrete. **Novelty.** The influence of the type and of the volume fraction of surfactants on the strength of furan compounds is examined for different fillers having the extreme value when filled by the silica flour with the volume fraction 0.1-0.2%, by the wetting agents DB and OP-4 with the volume fraction 0.5 -0.75%. **Practical impact.** The velocity of the relaxation processes (correspondingly, the rate of processes of structuring) can be controlled by the introduction of surfactants in furan composites.

Key words: furan composites, internal stress, relaxation processes, mesh structure, syntamides

Введення

Однією із причин виникнення внутрішніх напруг являється та частина усадки, яка залишилася після релаксації. Знання механізмів виникнення внутрішніх напруг дає можливість направлено змінювати їх величину шляхом зменшення густоти просторового змивання полімерів, збільшуючи гнучкість макромолекул і збільшенням за рахунок цього швидкості релаксаційних процесів структуроутворення.

Мета

Дослідити шляхи напруги в фуранових композитах і шляхи їх релаксації.

Матеріал

В якості матеріалу для дослідження була обрана кварцева мука, мука із бою кислотостійкої цегли, молотий кокс, суміш синтаміда в кількості 0,5 %, речовини «Прогресс»- 1 % і АДМАХ – 2% від маси фуранової смоли.

Методика та результати

Швидкість протікання релаксаційних процесів (відповідно, швидкість процесів структуроутворення) можна регулювати введенням в фуранові композити поверхнево-активних речовин.

Внутрішні напруги в структурі композитів залежать від виду наповнювача. Кварцева мука дає високі значення внутрішніх напруг, а мука із бою кислотостійкої цегли і молотий кокс – значно їх знижують. Затвердіння фуранової смоли в присутності цих заповнювачів супроводжується орієнтуванням пружних структурних елементів вздовж частинок наповнювача і виникненням сітчастої структури, частинки цих наповнювачів не являються центрами створення другорядних надмолекулярних структур, а сприяють лише паралельній укладці структур елементів [1].

Як видно із мал. 1, всі досліджуємі поверхнево-активні речовини знижують внутрішні напруги. Найкращі результати були отримані для полімер-розчину з добавкою синтаміда. Зменшення внутрішніх напруг в полімер-розчинах з добавками поверхнево-активних речовин можна об'яснити зміною надмолекулярної структури зв'язуючого. При введенні ПАВ в фуранову композицію глобулярна структура зв'язуючого перетворюється у фібрилярну, що сприяє підвищенню еластичності і більш щільній упаковці елементів на поверхні наповнювача. Створення таких надмолекулярних структур приводить до значного зменшення внутрішніх напруг в полімер-розчині при збільшенні адгезії і міцності на розрив наповненої композиції [2].

Показники (мал. 2) характеризують вплив концентрації поверхнево-активних речовин на максимальні внутрішні напруги в фуранових композиціях. Як видно із малюнку, значне зменшення внутрішніх напруг у фуранових композиціях досягається при введенні в суміш синтаміда в кількості 0,5 %, речовини «Прогресс»- 1 % і АДМАХ – 2% від маси фуранової смоли.

З накопиченням досліджених даних визначилися відповідні уявлення по механізму контактного опору, були зроблені спроби виявити фізичний закон, який зв'язує деформаційні (q) і силові (Γ cr) характеристики контакту. Перша пропозиція по вибору аналітичної формули зв'язку між (Γ cr) і (q), яка потім отримала назву закону зчеплення, була зроблена в 1941р. С.Є. Фрайфельдом [3]. На жаль, ця пропозиція не отримала розвитку, й незалежно від цього в 50-х роках з'явилися роботи, в яких закон зчеплення був прийнятий в простій формулі

$$\Gamma cr = k \cdot q \quad (\text{де } k = \text{const}) \quad (1)$$

(Від цієї залежності виходимо, що (q) завжди пропорційно (Γ cr). Найбільш вдалою виявилася пропозиція І. Гійома [4] використовувати для залежності від (q) графік ідеальних упругопластичних деформацій.

Дослідження ВНІД Залізобетону показали, що використання цього закону дає гарні результати, хоча найбільш вдалими необхідно вважати і нормальний закон:

$$\Gamma cr = \beta \frac{\sigma z(1 + \alpha q)}{1 + \alpha q} \quad (2)$$

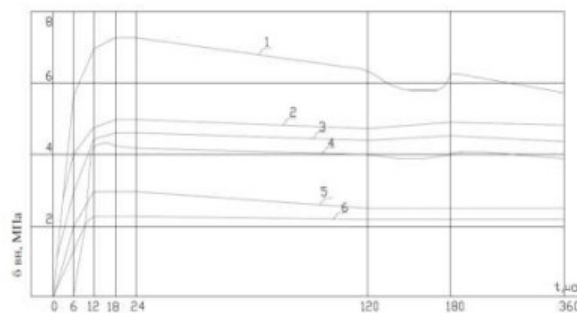


Рис. 1. Вплив ПАВ на внутрішні напруги в структурі фуранового композита, наповнювач-андезитове борошно $p/n = 0,66$. 1-без ПАВ; 2-АДМАХ; 3-ОП-4; 4-речовина «Прогресс»; 5-змочувач; 6- синтамід.
/ Influence of surfactant on internal stresses in the structure of furan composite, filler andesite flour $p/n = 0.66$. 1-without surfactant; 2-ADMAX; 3-OP-4; 4-substance «Progress»; 5-wetting; 6- syntamides

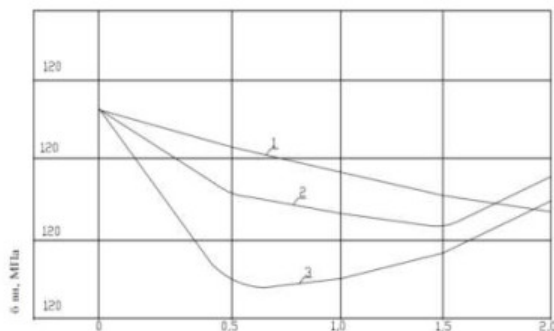


Рис. 2. Вплив конструкції АР на внутрішні напруги в структурі фуранового композита.

Наповнювач- андезитова мука $p/n = 0,66$; 1- АДМАХ; 2-речовина «Прогресс»; 3-синтамід /
Influence of the design of AP on internal stresses in the structure of furan composite.
Filling andesite flour $p/n = 0,66$; 1- ADMAR; 2-stuff "Progress"; 3-syntamide.

Виводи

Прикладене до полімербетону знижувальне навантаження визначеної величини визиває у нього упорядкування деякої частини зв'язків, ущільнення системи, підвищення міцності і пружності частини деформації полімерного каменю. Із збільшенням зовнішнього навантаження в полімерному камені виникають деформації, які визивають послаблення сил зчеплення і виникнення розтягуючих напруг в напрямку, перпендикулярному до площини прикладення зовнішнього навантаження. В контактах між мікроструктурними елементами, а саме в місцях ослаблених порами і іншими технологічними деформаціями, створюється осередки конструкції напруг, які, досягнувши визначеної величини (більше межі міцності зв'язків), визивають мікротріщиноутворення, і як результат цього, руйнування полімербетону від поперечного відриву. Теоретична міцність (сили зчеплення) в ідеальному кристалі визначається залежністю

$$\sigma_c = \frac{E}{2\Pi} \quad (3)$$

Фактична міцність полімербетону на термореактивних фуранових смолах із-за недосконалості його структури, складає величину на багато разів меншу, чим теоретична, і оцінюється в межах 0,003-0,005 E.

Результати

На основі якісного аналізу реакцій полімерного каменю на зовнішні навантаження можна зробити висновок, що міцність і деформативні властивості полімербетонного каменю визначаються міцністю зв'язків в кристалічних решітках і щільністю їх упаковки у займаємому об'ємі пружністю і міцністю контактів між структурними складовими, кількістю і

перерізом пор (дефектів), а також відновлюючою силою, яка виникає під дією зовнішнього навантаження в результаті релаксаційних коливань і зміщень мікро- і макроструктурних елементів.

Руйнування полімербетону проходить в результаті концентрації напруг в зонах, де градієнт зовнішніх сил визиває пік зусиль, обумовлений, різницею деформативних властивостей складових, їх розташуванням, формою об'ємним змістом, кількістю пор та інших дефектів.

Процес мікротріщиноутворення у полімербетоні під впливом зовнішніх стискуючих навантажень характеризується чотирма стадіями. На першій стадії (при початковому навантаженні) пройде ущільнення структури полімерного каменю, по мірі росту рівня стискання виникають градієнти напруг в контактних зв'язках, які приведуть до їх розриву, відповідно до створення мікроруйнувань в цих зонах і порушенню зчеплення між ними (друга стадія). Включення, позбавлені зв'язків зчеплення при подальшому збільшенні зовнішнього навантаження стискають прошарки полімерного каменю, таким чином виникне умовне його ущільнення за рахунок руйнування стінок пор (третя стадія), яка являється підготовчою, після якої приходить прогресуючий процес розущільнення всієї системи (четверта стадія), яке веде до руйнування структури полімерного каменю і відділенню від нього більш круглих включень.

Вплив зерен крупного заповнювача на кінетику мікроруйнувань полімербетону виявляються по різному, так як це залежить від співвідношення міцностей і модулів пружності полімерного каменю і заповнювача.

Істина міцність пористих заповнювачів (щебенів із бою кислотостійкої цегли), в полімербетоні значно вище, чим при дослідженні подрібненням, так як при визначеному погруженому стані, із-зі малих деформацій полімерного каменю, заповнювач витримує об'ємне стиснення, в зв'язку з чим сприймає навантаження без створення тріщин.

Результати визначення міцностних характеристик і повноти затвердіння полімербетону на термореактивних фуранових смолах показують, що 24-годинний сухий прогрів його при температурі 80°C після добової витримки при температурі 18-25°C забезпечує достатньо високу ступінь затвердіння і високі міцностні характеристики.

Наукова та практична новизна

Установлено вплив основних структуростворюючих факторів (відношення p/n , величини коефіцієнту розсування зерен крупного заповнювача (δ) і товщини полімерзв'язуючого шару (g) на міцностні характеристики фуранового полімербетону. Оптимальними значеннями являються: $p/n=0,66-0,8$; $\delta=1,3$; $g = 94 \cdot 10^{-6}$ м [4]. Встановлено вплив виду і концентрації поверхнево-активних речовин на міцностні характеристики

фуранових композицій з різними наповнювачами (так речовини «Прогресс» і ОАДМА мають екстремальне значення при наповнювачі із кварцевого борошна – 0,1 -0,2 %, а змочувач ДБ і ОП – 4 – при концентрації 0,5-0,75 %).

Отримання рівняння міцності фуранового полімербетону на щільному (гранітний щебень) і пористому (щебень із бою кислототривкої цегли) заповнювачах.

При затвердінні термореактивних фуранових смол за рахунок екзотермічних реакцій поліконденсації виділяється значна кількість тепла, що обумовлює високу температуру розігрівання суміші і термічну деструкцію фуранової смоли. Мінеральні наповнювачі і заповнювачі значно знижують максимальну температуру саморозігріву суміші зменшують температурні напруження і можливості появи тріщин.

Максимальна температура розігрівання полімерної суміші залежить від об'єму конструкції, кількості фуранової смоли в композиції, кількості затверджуючого смоли реагента і температури навколишнього середовища, тому проектування складу полімербетону, особливо для виготовлення крупно-габаритних об'ємних конструкцій, якими являються технологічні агрегати хімічної обробки металоконструкцій, необхідно проводити з урахуванням основних закономірностей тепловиділення і виникаючих при цьому температурних напружень.

Усадочні напруження у полімербетоні на термореактивних смолах при перетворенні в'язкопластичного полімерного тіста в кам'яновидний стан обумовлюється зближенням молекул фуранової смоли в процесі реакції поліконденсації, створенням жорстких структур і їх високим адгезійним зв'язком з частинками твердої фази активного мікронаповнювача, а також втратою в процесі затвердіння летючих речовин.

Джерелом виникнення в полімербетонах внутрішніх усадочних напружень являється наявність в композиції жорсткої структури, яка володіє високим модулем пружності. Збільшення ступеню наповнення композиції знижує усадку, але збільшує внутрішні усадочні напруження.

В полімербетонах на пористих заповнювачах (щебеню із бою кислототривкої цегли) із-за відносно низького модуля пружності заповнювачів полімербетону присутні при інших різних умовах великі усадочні деформації і відносно висока тріщиностійкість.

Максимальна усадка для полімербетону на термореактивних фуранових смолах, андезитовій муці і щебеню із бою кислототривкої цегли складає приблизно 1мм/м.

Всі дослідженні поверхнево-активні речовини зменшують усадку і усадочні напруження у фуранового полімербетону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зуев Ю. С. Разрушение полимеров под действием агрессивных сред / Ю. С. Зуев // М.: Химия, - 1972.- С. 150.
2. Zubov P. I. Vliyaniye usilii formirovaniya poliefirnykh pokrytiy na ix nadmolekulyarnuyu strukturu i svoystva / P. I. Zubov, M. R. Kiselev, L. N. Syhareva // Коллоидный журнал. - 1868. - №6. - С. 827.
3. Фрейфельд С. Е. Собственные напряжения в железобетоне / С. Е. Фрейфельд // М.: Строиздат, - 1941. - С. 23.
4. Березюк А. Н. Влияние поверхностно-активных веществ на внутренние напряжения в фурановых композициях. Материалы II международной научно-практической конференции «Ключевые аспекты научной деятельности-2007» / А. Н. Березюк, Н. И. Ганник, А. В. Гавриш, А.П. Мартыш // г. Днепрпетровск, «Наука и образование», 2007. - С.75.

REFERENCES

1. Zuev U. S. *Razrusheniye polimerov pod deistviem agressivnykh sred* [Destruction of polymers under the action of aggressive environments] / U. S. Zuev // M.: Himiya [Moscow: chemistry]. 1972.- pp. 150.
2. Zubov P. I. *Vliyaniye usilii formirovaniya poliefirnykh pokrytiy na ix nadmolekulyarnuyu strukturu i svoystva* [Influence of efforts of forming of poliefirnykh coverages on their nadmolekulyarnuyu structure and properties] / P. I. Zubov, M. R. Kiselev and L. N. Syhareva // *Kolloidnyi zhurnal* [Colloid magazine]. - 1868. - №6. - pp. 827.
3. Freifeld S. E. *Sobstvennyye napryazheniya v gelezobetone* [Own tensions are in the reinforced concrete] // S. E. Freifeld // M.: Stroizdat [Moscow: building publishing house], - 1941. - pp. 23.
4. Berezuk A. N. *Vliyaniye poverhnostno-aktivnykh veshchestv na vnytrennie napryazheniya v fyranovux kompozitsiyax* [Influence of poverhnostno-aktivnykh substances on internal tensions in furan compositions]. / A. N. Berezuk, N. I. Gannik, A.V. Gavrish and A. P. Martush // *Materialy II megdynarodnoi konfiredtsii «Kluchevye aspektu naychnoi deyatelnosti* [" Materials of II of international conference are the "Key aspects of scientific activity-2007] // c. Dnipro, - 2007. - pp.75.

Стаття рекомендована до публікації д-ром. техн. наук, проф. Д.В. Лаухінім (Україна), д-ром. техн. наук, проф. Г.Д. Сухомлінім (Україна)