

Технічні науки

УДК 662.61:621

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор,
чл.-кор. НАН України, завідувач відділу
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Fialko Nataliia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of Department
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Меранова Наталія Олегівна

*кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Meranova Nataliia

*Candidate of Technical Sciences,
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Шеренковський Юлій Владиславович

*кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Sherenkovskiy Julii

*Candidate of Technical Sciences,
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Альошко Сергій Олександрович

кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Aleshko Sergey

Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Хміль Дмитро Петрович

доктор філософії, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Khmil Dmytro

PhD, Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Кліщ Андрій Володимирович

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Klishch Andrii

Junior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Місюра Тимофій Олексійович

доктор філософії, науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Misiura Tymofii

PhD, Scientific Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Сірий Олександр Анатолійович

кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України;

доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Siryi Oleksandr

Candidate of Technical Sciences, Junior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine;

Associate Professor

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Бетін Юрій Олексійович

кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Betin Yurii

PhD, Junior Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Дашковська Ірина Леонідівна

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Dashkovska Iryna

Junior Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕЧІЇ І
СУМІШОУТВОРЕННЯ ПРИ МІКРОФАКЕЛЬНОМУ
СПАЛЮВАННІ ПАЛИВА**

COMPARATIVE ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF FLOW AND MIXING FORMATION AT MICRO-JET COMBUSTION OF FUEL

***Анотація.** В статті виконано аналіз різних математичних моделей течії струменів палива в мікрофакельному пальниковому пристрої струменево-нішевого типу. Визначено переваги уточненої математичної моделі над спрощеною моделлю, що широко використовується в різних дослідженнях процесів спалювання газоподібного палива.*

***Ключові слова:** динаміка течії палива, пальники струменево-нішевого типу, газподавальні отвори, відносний крок між отворами, внутрішній об'єм пілона.*

***Summary.** The article analyzes various mathematical models of fuel jet flow in a micro-jet burner of a jet-niche type. The advantages of the refined mathematical model over the simplified model, widely used in various studies of gaseous fuel combustion processes, are determined.*

***Key words:** fuel flow dynamics, jet-niche burners, gas supply holes, relative step between holes, internal volume of the pylon.*

Сталою тенденцією дослідження робочих процесів спалювання палива є широке застосування математичного моделювання [1-14].

Важливим питанням при реалізації математичного моделювання процесів спалювання, що спостерігаються в різних вогнетехнічних пристроях, є розробка адекватної математичної моделі. В представленій роботі розглядаються можливості використання моделі даних процесів стосовно пальникових пристроїв струменево-нішевого типу. При цьому особлива увага приділяється витіканню палива скрізь газоподавальні отвори. У першій моделі, що широко використовується, передбачається безпосередньо перед газоподавальним отвором наявність каналу

циліндричної форми, в якому реалізується гідродинамічна стабілізація течії (рис. 1).

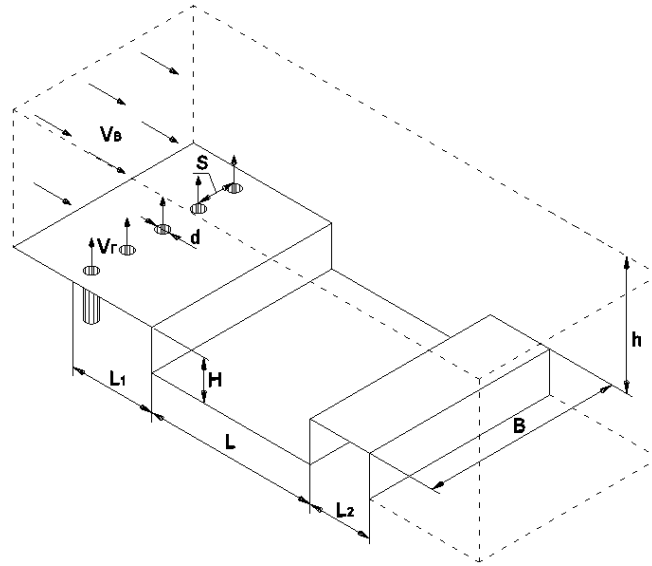


Рис. 1. До постановки задачі при використанні першої (наближеної) моделі витікання палива через газоподавальні отвори

Друга модель є більш складною і більш реально відображає фізичну обстановку. Подача палива в цій моделі здійснюється у внутрішній об'єм пілона, звідки воно надходить безпосередньо в газоподавальні отвори (рис. 2).

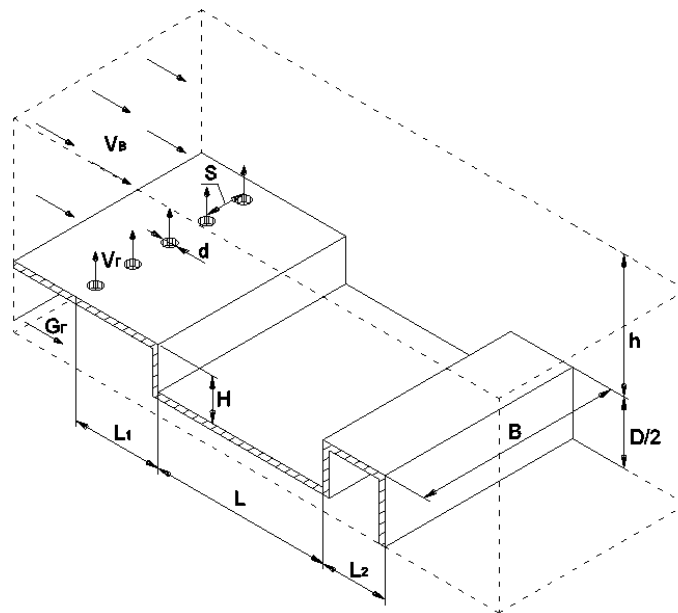


Рис. 2. До постановки задачі при використанні другої (уточненої) моделі витікання палива через газоподавальні отвори

Наведені дані відповідають наступним вихідним параметрам: середня швидкість повітря на вході канал $W_B=10$ м/с; значення гідродинамічного параметра $q = 7$; відносний крок між отворами; відстань між центром газоподавального отвору та передньою стінкою ніші $L_1=10 \cdot 10^{-3}$ м; висота каналу $h_k = 80 \cdot 10^{-3}$ м; ширина каналу $B=100 \cdot 10^{-3}$ м; діаметр газоподавальних отворів $d=3,5 \cdot 10^{-3}$ м; інтенсивність турбулентності потоку повітря на вході в канал $Tu=3\%$, на виході з газоподавальних отворів $Tu=1\%$; товщина приграничного шару перед нішою за відсутності системи струменів палива $\delta=6 \cdot 10^{-3}$ м; довжина ніші $L=40 \cdot 10^{-3}$ м.

На рис. 3 детально представлена динаміка течії палива у внутрішній порожнині пілону в підобласті, що прилягає до передньої кромки ніші. Як видно, має місце дуже складна картина течії палива.

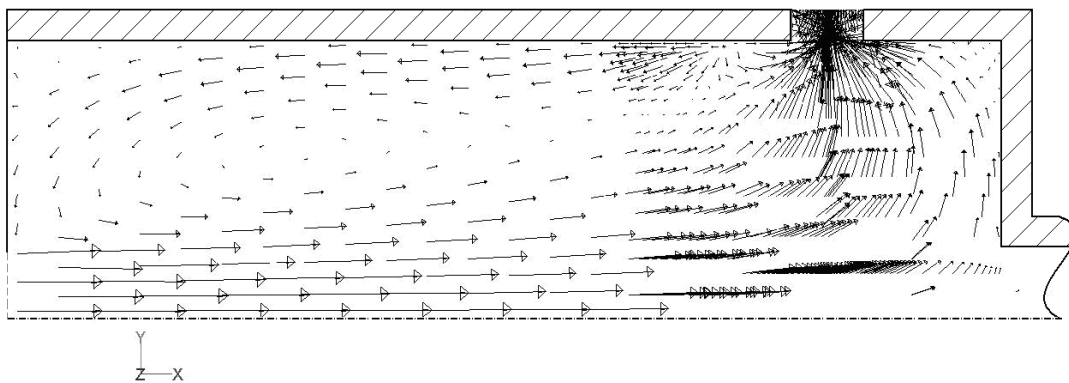


Рис. 3. Векторне поле швидкостей у власне внутрішній порожнині пілону в підобласті, що прилягає до передньої кромки ніші

Домінуючим напрямом руху тут є рух струменів палива від місця їх подачі вздовж центральної горизонтальної площини пілону і далі вгору до газоподавальних отворів. При цьому основний потік огинає передню стінку ніші. У верхній частині пілону перед газоподавальним отвором реалізується великий вихор, що охоплює практично всю зазначену підобласть. Особливо привертає увагу наявність певної асиметрії течії

поблизу газоподавального отвору. Ця обставина, як очевидно, зумовлює відповідну асиметрію витікання палива з газоподавальних отворів.

Характеризуючи в цілому картину витікання струменів палива для двох моделей можна помітити, що у другій моделі має місце так зване недосконале стискання струменя. Це зумовлено необхідністю плавного переходу від різних напрямків руху палива в порожнині пілона поблизу отвору до власне напрямку руху струменя. Цей ефект ілюструється на рис. 4.

Помітно, що поблизу поверхні отвору реалізуються рециркуляційні зони, зумовлені стисканням струменя. Факт стиснення струменя підтверджується також даними, представленими на рис. 5.

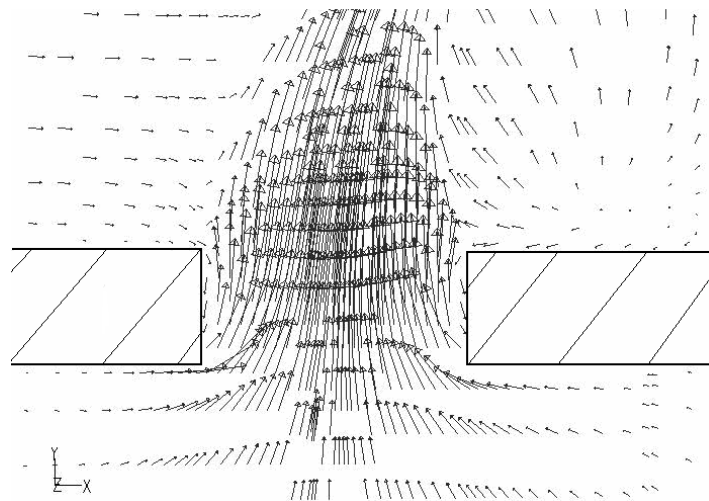
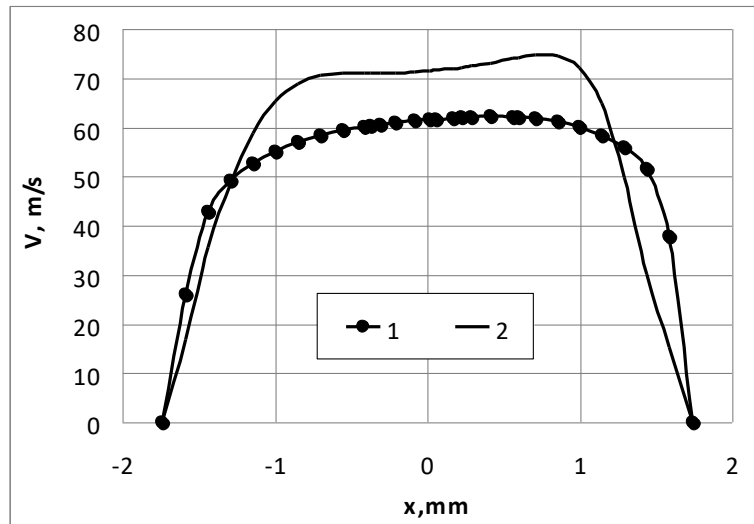
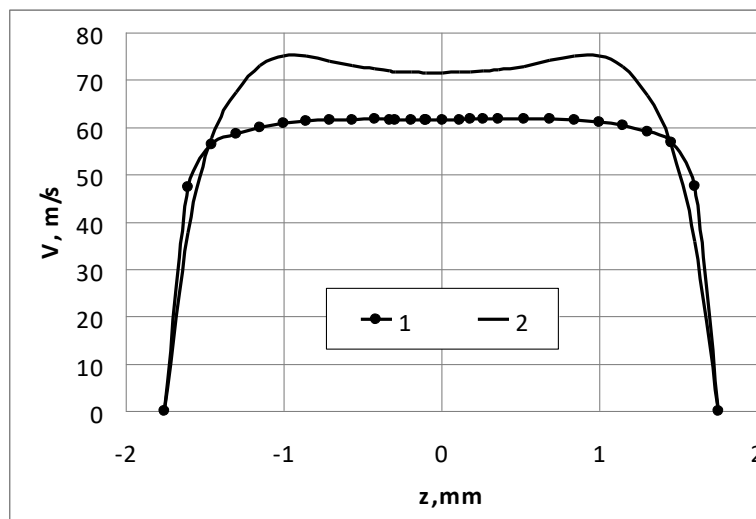


Рис. 4. Векторне поле швидкостей потоку для уточненої моделі витікання палива через газові отвори

На рис. 6 наведені профілі швидкості на виході з газоподавального отвору, що відповідають двом моделям, які зіставляються. В другій уточненій моделі мають місце більш високі значення швидкості палива в центральній зоні струменя, що викликано його стисканням. В першій розглянутій моделі витікання струменів палива зазначене стискання відсутнє і струмінь є циліндричним.



а)



б)

Рис. 5. Профілі швидкості потоку на виході з газоподавального отвору вздовж осі OX (а) і осі OZ (б): 1 – спрощена модель витікання палива через газоподавальні отвори; 2 – відповідна уточнена модель

Представлена картина стиснення струменя в цілому помітно впливає на динаміку течії струменів палива в зносячому потоці окиснювача, і як наслідок, на процес сумішоутворення. У цій ситуації спостерігається деяке підвищення далькості струменя внаслідок збільшення його швидкості через ефект стиснення (рис. 6).

Звуження струменя зумовлює також локальне збільшення прохідного перерізу в міжструминному просторі, що призводить до зростання витрати повітря в даній зоні.

Зазначені вище чинники (збільшення дальнобійності струменя та локальне підвищення витрати повітря) породжують зміни і в картині сумішоутворення. Цю обставину ілюструє рис. 7.

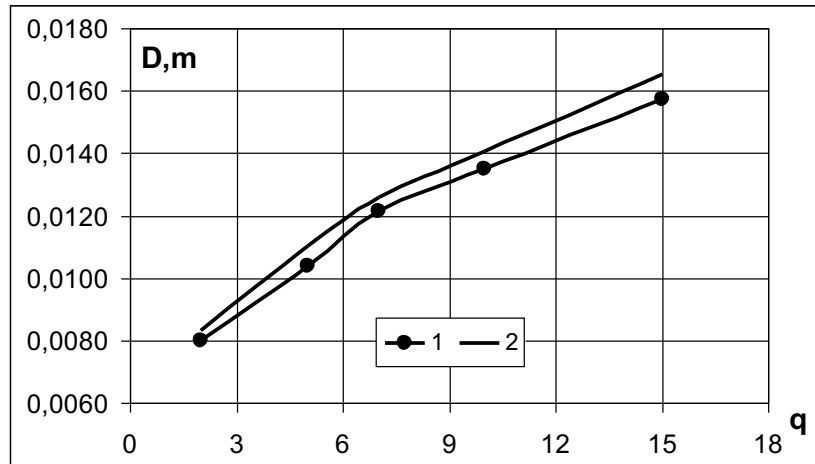


Рис. 6. Залежність дальнобійності струменя від гідродинамічного параметра q : 1 – спрощена модель витікання палива через газоподавальні отвори; 2 – відповідна уточнена модель

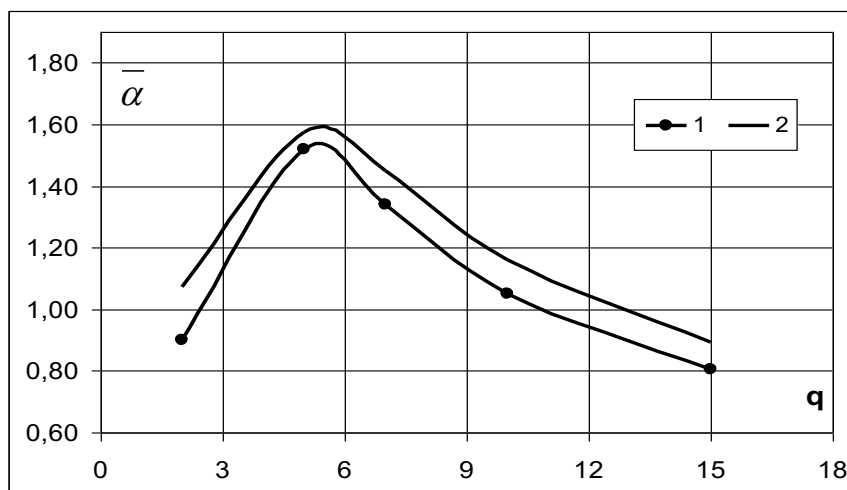


Рис. 7. Залежність середнього в нішевій порожнині коефіцієнта надлишку повітря від гідродинамічного параметра q для двох моделей, що розглядаються: 1 – спрощена модель витікання палива через газоподавальні отвори; 2 – відповідна уточнена модель

Тут представлена залежність середнього в нішевій порожнині коефіцієнта надлишку повітря $\bar{\alpha}$ від гідродинамічного параметра q для двох моделей, що розглядаються. Як бачимо, відмінності даних, що відповідають порівнюваним моделям, сягає 15 %. При цьому значення коефіцієнтів надлишку повітря $\bar{\alpha}$ у разі другої уточненої моделі у всьому досліджуваному діапазоні зміни параметрів виявляються більш високими.

Отже, в результаті проведених досліджень виконано порівняльний аналіз різних моделей витікання струменів палива в пальниковому пристрої струменево-нішевого типу. При цьому показано, що доцільним є використання уточненої моделі витікання струменів, оскільки вона дає можливість більш адекватного опису як динаміки течії палива, так і сумішоутворення палива і окислювача.

Література

1. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Бутовский Л.С., Шеренковский Ю.В. и др. Особенности течения топлива и окислителя при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени. *Промышленная теплотехника*. 2011. Т. 33, № 2. С. 59-64. URL: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/60319> (дата звернення: 10.10.2024).

2. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Бутовский Л.С., Шеренковский Ю.В. и др. Моделирование структуры течения изотермического потока в эшелонированной решетке плоских стабилизаторов пламени. *Промышленная теплотехника*. 2010. Т. 32, № 6. С. 28-36. URL: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/60617/04-FialkoNEW.pdf?sequence=1> (дата звернення: 10.10.2024).

3. Фіалко Н.М., Бутовский Л.С., Прокопов В.Г., Грановская Е.А., и др. Особенности обтекания плоских стабилизаторов ограниченным потоком. *Промышленная теплотехника*. 2010. Т. 32, № 5. С. 26-33.

4. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г, Алёшко С.А., Полозенко Н.П., и др. Анализ влияния геометрической формы нишевой полости на аэродинамическое сопротивление канала. *Промышленная теплотехника*. 2012. 34, № 1. С.72-76.

5. Фиалко Н.М., Алешко С.А., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., и др. Эффективность систем охлаждения горелочных устройств струйно-стабилизаторного типа. *Технологические системы*. 2012. № 58/1. С. 52-57. URL: <http://technological-systems.com/index.php/Home/article/view/309/316> (дата звернения: 10.10.2024).

6. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Майсон Н.В., Меранова Н.О., и др. Интенсификация процессов переноса в горелочном устройстве с цилиндрическим стабилизатором пламени. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Т.24, № 5. С.136-142.

7. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Майсон Н.В., Меранова Н.О., и др. Влияние пластинчатых турбулизаторов потока на характеристики течения и смесеобразования топлива и окислителя в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Т.24, № 6. С.114- 121.

8. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Майсон Н.В., Меранова Н.О., и др. Математическое моделирование процессов течения и смесеобразования в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2014. Т.3, №8(69). С. 40-44.

9. Hanzha M.V. Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovskiy Yu. V., & et. Modeling of heat transfer processes in stabilizer burners with heat-resistant coatings. 2018 - *The development of technical sciences: problems and solutions*. Brno: Baltija Publishing. P. 189-192.

10. Fialko N.M., Aleshko S.A., Rokitko K.V., Maletskaya O.E., & et. Regularities of mixture formation in the burners of the stabilizer type with one-

sided fuel supply. *Технологические системы*. 2018. № 84/3. С. 37-43.
<https://doi.org/10.29010/084.3>.

11. Fialko N.M., Prokopov V.G., Aleshko S.A., Abdulin M.Z., & et. Computer simulation of flow in microjet burner devices with asymmetric supply of fuel. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28, № 8. С. 117-121.
<https://doi.org/10.15421/40280823>.

12. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., та ін. Комп'ютерне моделювання процесів теплопереносу в мікрофакельних пальникових пристроях з термобар'єрними покриттями. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Т. 27, № 5. С. 130-133.
<https://doi.org/10.15421/40270526>.

13. Фіалко Н.М., Бутовський Л.С., Меранова Н.О., Рокитько К.В., та ін. Експериментальні дослідження температурного режиму в зоні горіння пальників з ешелонованими решітками стабілізаторів полум'я. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Т. 27, № 5. С. 77-81.
<https://doi.org/10.15421/40270516>.

14. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Альошко С.О. та ін. CFD моделювання температурних режимів зони горіння пальників стабілізаторного типу з асиметричною подачею палива. *Теплофізика і теплоенергетика*. 2019. Т.41, № 4. С. 13-18.
<https://doi.org/10.31472/tpe.4.2019.2>.