

Aerodynamic resistance nonwoven filter material

Evgen Kharchenko, Evgen Dmitruk, Andriy Sharan

National University of food technologies, Kyiv, Ukraine

ABSTRACT

Keywords:

Filter
Permeability
Air
Aerodynamic
Resistance
Grain

Introduction. Determination of aerodynamic resistance of unfabric filtration materials is very topical and consists in a necessity to development methods of calculations filters aspiration and pneumotransport equipment.

Materials and methods. The 24 unfabric filtration materials were investigated. The aerodynamic resistance were researched by reaching air and measuring their aerodynamic resistance with next mathematical treatment experimental information.

Results. Filtration materials have line character of aerodynamic resistance from specific loading of air on a filter surface. Unfabric filtration materials with an identical closeness can have different aerodynamic descriptions and on the contrary filtration materials with different closeness can have identical aerodynamic descriptions. Aerodynamic resistance of materials does not depend on their closeness substantially. The main description of unfabric materials which influence to aerodynamic resistance is ventileness. Mathematical dependence is shown out for calculation aerodynamic resistance unfabric filtration materials which takes into account ventileness of materials. Results recommend to use for calculations filters-cyclones at projection aspiration and pneumotransport equipment.

Article history:

Received 15.06.2013
Received in revised form
30.08.2013 Accepted

03.04.2013

Corresponding author:

Evgen Kharchenko
E-mail:
a-537@ukr.net

УДК 664.6. 7

Аеродинамічний опір нетканих фільтрувальних матеріалів

Євген Харченко, Євген Дмитрук, Андрій Шаран

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ

Фільтри та фільтри-циклони широко використовують в багатьох галузях, в тому числі і на елеваторах та зернопереробних підприємствах, де здійснюють очищення повітря від пилу.

Існуючі методи розрахунку [Володин Н.П. Справочник по аспирационным и пневмотранспортным установкам. - М.: Колос, 1984; Правила проектування аспіраційних установок підприємств по збереженню та переробці зерна. - Одеса-Київ, 1995] та підбору фільтрів базуються на визначенні питомого навантаження по повітрю на одиницю площі фільтрувальної поверхні при цьому не враховуються аеродинамічні та структурні властивості фільтрувальних матеріалів. Останнім часом набули широкого розповсюдження неткані фільтрувальні матеріали, які замінили фільтрувальні тканини і є основним фільтруючим елементом в конструкціях багатьох повітряних фільтрів зернозберігальних та зернопереробних підприємств. Відмінність між нетканим матеріалом та тканиною полягає в тому, що тканина є результатом роботи ткацького верстату і має в основі основу та уток, а нетканий матеріал отримують шляхом «звоячування» [5]. В свою чергу неткані матеріали поділяється на каркасні та безкаркасні. Каркасні матеріали в своїй структурі мають каркас (сітку), який збільшує тривалість роботи матеріалу за рахунок меншого зношування під час експлуатації. Усі неткані фільтрувальні матеріали характеризують двома основними характеристиками: щільністю та повітропроникністю [5]. Як впливає каркас на аеродинамічний опір нетканих матеріалів при проходженні через нього повітря в літературних джерелах не відмічається. Необхідно провести досліджень з метою встановлення закономірностей зміни аеродинамічного опору при проходженні повітря через нетканий матеріал каркасної та безкаркасної структури.

Матеріали та методи

Для дослідження аеродинамічного опору нетканих фільтрувальних матеріалів створено лабораторну установку, яку наведено на рисунку 1.

Установка складається із аспіратора М-822, яким вимірювалась витрата повітря за ротаметром з витратою до 20 л/хв ($1,2 \text{ м}^3/\text{год}$). До аспіратора М-822 приєднувався за допомогою з'єднувальної трубки фільтротримач ІРА-20 закритого типу. До та після фільтротримача встановлено трійники до яких приєднувався мікроманометр ММН-2400. Аеродинамічний опір фільтрувальних матеріалів визначали як різницю тисків до та після фільтрувального матеріалу.

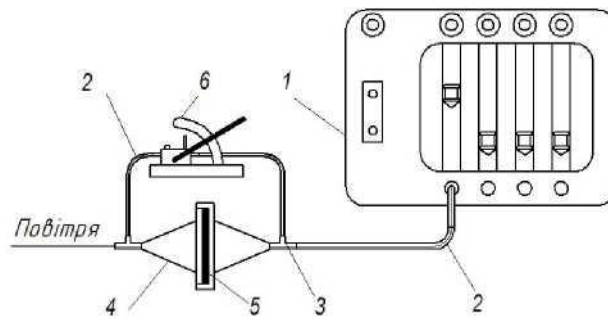


Рис. 1. Схема дослідної установки для дослідження аеродинамічного опору нетканих фільтрувальних матеріалів:

1 - аспіратор М-822; 2-з'єднувальні трубки; 3 - трійник; 4 - фільтротримач ІРА-20; 5 - фільтрувальний матеріал; 6 - мікроманометр ММН-2400.

Усі з'єднувальні елементи герметизувалися за допомогою липкої стрічки та хомутів.

Враховуючи, що при просмокуванні повітря фільтротримач ИРА-20 також створює аеродинамічний опір, перед дослідженнями проведено визначення аеродинамічного опору самого фільтротримача ИРА-20.

Аеродинамічний опір фільтру можна розглядати як суму аеродинамічного опору фільтротримача та фільтрувального матеріалу, тому аеродинамічний опір фільтрувальних матеріалів визначали за формулою:

$$H_{\phi\mu} = H_0 - H_{\phi\sigma} \quad (1)$$

де H_0 - аеродинамічний опір нетканого фільтрувального матеріалу, Па; $H_{\phi\sigma}$ - аеродинамічний опір фільтротримача і фільтрувального матеріалу, Па; $H_{\phi\delta}$ - аеродинамічний опір фільтротримача, Па.

Витрату повітря змінювали від 2 (0,12 м³/год) до 18 л/хв (1,08 м³/год) за допомогою крана, яким обладнано аспіратор М-822, з кроком в 2 л/хв.

Після визначення витрати повітря, Q , розраховували питоме навантаження, q , на фільтрувальний матеріал за формулою:

$$q = \frac{Q}{f} \quad (2)$$

де q - питоме навантаження на фільтрувальний матеріал, м³/м²-с, Q - витрата повітря, м³/с, f - площа фільтрувального матеріалу, м².

Робочу площу фільтрувального матеріалу приймали рівною 0,001884 м².

Після визначення опору фільтрувального матеріалу та розрахунків питомого навантаження на фільтрувальний матеріал будували залежності в координатах

$$H_{\phi\mu} = f(q)$$

Щільність фільтрувальних матеріалів визначали шляхом зважування шматків фільтрувальних матеріалів розмірами 100 x 100 мм на технічних вагах ТВЕ-200 3 класу точності з наступним перерахунком на густину (г/м²).

Математична обробка окремих серій досліджень, порівняння розрахункових і вимірних даних виконувалася на ПК з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel.

Для зручності аналізу і практичного використання отримані дані викладені у вигляді графіків, формул та таблиць.

Коефіцієнт кореляції визначали за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

де, x, y — ознаки об'єкта.

Дослідженню підлягали 24 неткані фільтрувальні матеріали українського та закордонного виробництва із каркасною та безкаркасною структурою, які мали різну щільність та повітропроникність. Дійсні значення питомого навантаження на фільтрувальний матеріал фільтрів зернопереробних підприємств лежать в межах від 0,04 до 0,12 м³/м²-с, тому діапазон досліджень обрано таким, що відповідає реальним умовам експлуатації фільтрувальних матеріалів на підприємствах.

Результати та обговорення

Встановлено, що аеродинамічний опір нетканих фільтрувальних матеріалів має лінійний характер (рис. 2, 3), це підтверджується дослідженнями інших дослідників [3]. Лінійний характер аеродинамічного опору матеріалу пояснюється тим, що при ламінарному русі повітря в мікропорах матеріалу підкоряється закону Дарсі.

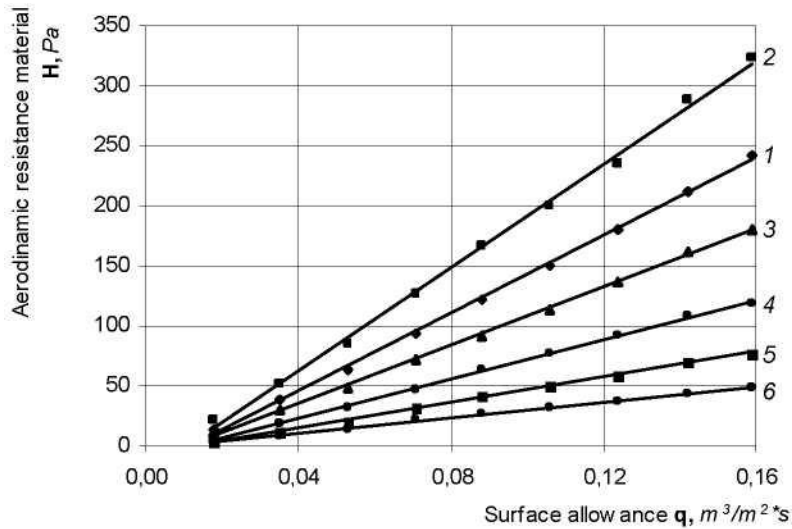


Рис. 2. Аеродинамічний опір нетканих фільтрувальних матеріалів з каркасною структурою.

Щільність матеріалу, g/m^2 : 1 -508; 2 -548; 3 - 415; 4 -538; 5 -464; 6 -524

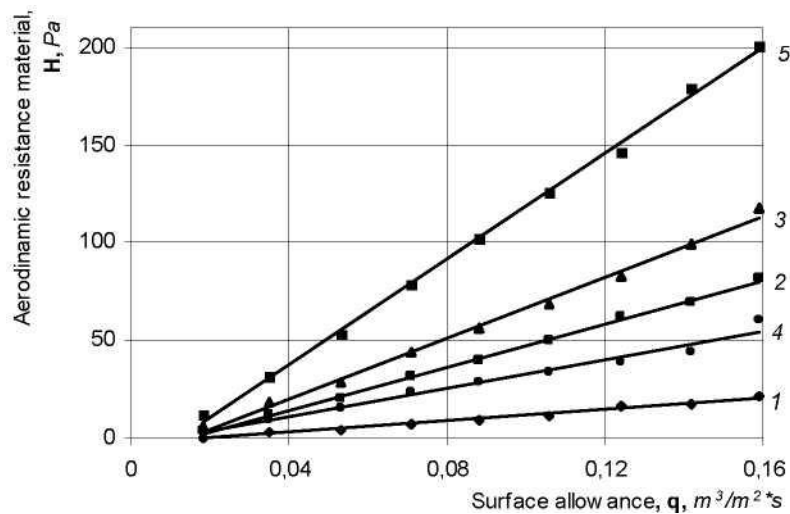


Рис. 3. Аеродинамічний опір нетканих фільтрувальних матеріалів з безкаркасною структурою:

Щільність матеріалу, g/m^2 : 1 -353,1; 2 -552,8; 3 -538,5; 4 -215,7; 5 -560,1

Між щільністю нетканих фільтрувальних матеріалів та їх аеродинамічним опором існує слабкий кореляційний зв'язок, що підтверджують розрахунки коефіцієнтів кореляції при сталому питомому навантаженні: для каркасних нетканих

матеріалів (рис.4) коефіцієнт кореляції становить 0,50, а для безкаркасних нетканих матеріалів (рис.5) коефіцієнт кореляції становить 0,32.

Низькі значення розрахованих коефіцієнтів кореляції свідчать про незначну залежність між щільністю матеріалу та його аеродинамічним опором.

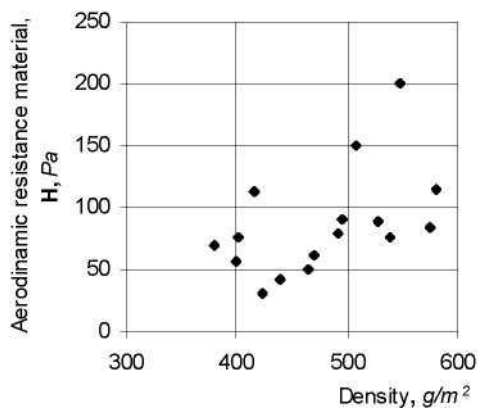


Рис. 4. Кореляційне поле щільності каркасних нетканних матеріалів та їх аеродинамічного опору, питоме навантаження $0,106 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$.

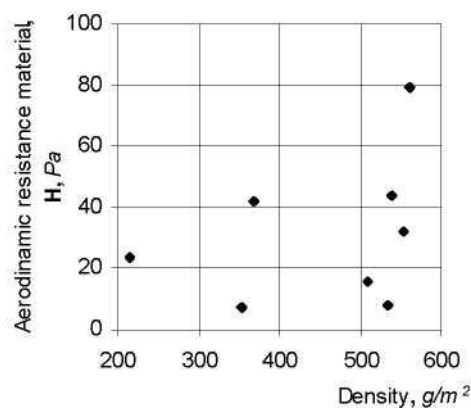


Рис. 5. Кореляційне поле щільності безкаркасних нетканних матеріалів та їх аеродинамічного опору, питоме навантаження $0,071 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$.

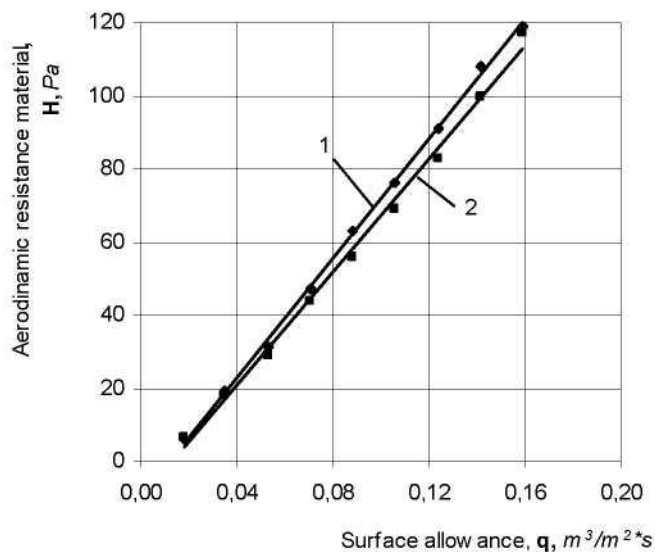


Рис. 6. Аеродинамічні характеристики фільтрувальних матеріалів з різною структурою та однаковою щільністю:
1 - матеріал з каркасною структурою, щільність $537,9 \text{ г}/\text{м}^2$; 2 - матеріал із безкаркасною структурою, щільність $538,5 \text{ г}/\text{м}^2$.

Дослідженнями встановлено, що фільтрувальні матеріали, які мають різну структуру та однакову щільність, можуть мати однакові аеродинамічні характеристики (рис. 6).

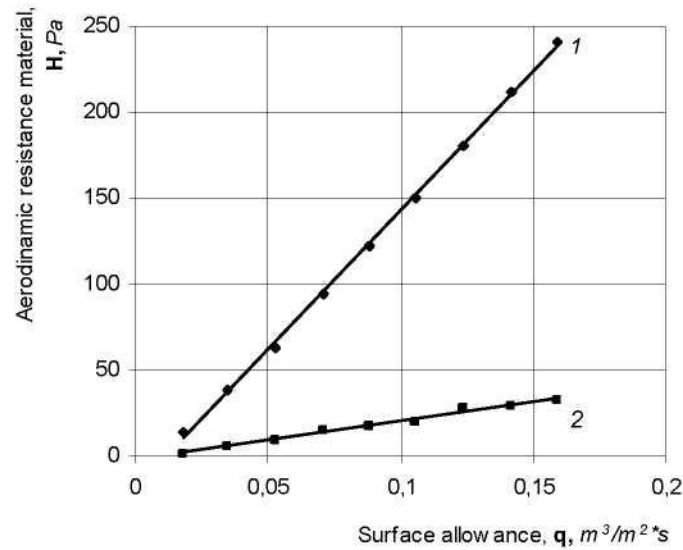


Рис. 7. Порівняння аеродинамічних характеристик матеріалів з різною структурою: 1 - каркасний матеріал, щільність 508 г/м², 2 - без каркасний матеріал, щільність 508 г/м².

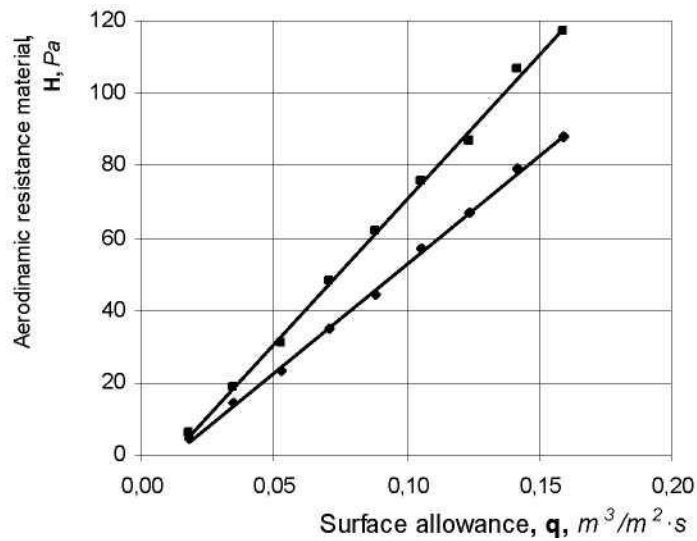


Рис. 8. Порівняння аеродинамічних характеристик каркасних нетканих матеріалів з щільністю 400 г/м².

Порівняння матеріалів з різною структурою (рис. 7) свідчить, маючи однакову щільність аеродинамічні характеристики матеріалів також різні. Результати порівняльного аналізу (рис. 8) свідчать про те, що незважаючи на однакову структуру та щільність аеродинамічні характеристики матеріалів також можуть бути різні.

Результати досліджень, які наведені на рис. 6, 7 та 8 свідчать про те, що щільність нетканих матеріалів незначно впливає на аеродинамічні характеристики

матеріалів набагато більший вплив здійснює здатність матеріалу пропускати через себе повітря тобто повітропроникність. Відмінності в аеродинамічних характеристиках, які наведено на рис. 6,7 та 8 можна пояснити тим, що фільтрувальний матеріал може мати однакову масу 1 м^2 площі, але за рахунок ущільнення структури шляхом спресовування або обробки поверхні матеріалу (каландрування тощо) його здатність пропускати повітря буде різною.

Слід розрізняти повітропроникність та питома навантаження. Повітропроникність і питома навантаження на фільтрувальний матеріал мають

$$\frac{\text{м}^3}{\text{м} \cdot \text{с}}$$

однакову розмірність (— ----), але ці поняття є різними за змістом.

Повітропроникність - це кількість повітря, яке проходить через одиницю площі фільтрувального матеріалу за визначений проміжок часу при фіксованому аеродинамічному опорі матеріалу.

ГОСТ Р ИСО 9237 - 99 «Материалы текстильные. Метод определения воздухопроницаемости» встановлює такі значення аеродинамічного опору: для матеріалів, що використовуються для одягу - 100 Па, для технічних матеріалів - 200 Па.

Питома навантаження - це кількість повітря, яке проходить через одиницю площі фільтрувального матеріалу за визначений проміжок часу. Питома навантаження на відміну від повітропроникності може приймати різні значення, оскільки воно не обмежене ніякими іншими факторами, що можна бачити з рис. 2...8.

Залежність аеродинамічного опору від питомого навантаження має лінійний характер і описується рівнянням виду:

$$H = k \cdot q \text{ або } H = k \cdot \frac{Q}{F} \quad (4)$$

де H - опір матеріалу, Па; q - питома навантаження, $\text{м}^3/\text{м}^2\text{-с}$; Q - витрати повітря, $\text{м}^3/\text{с}$; F - площа фільтрувального матеріалу, м^2 ; k - коефіцієнт пропорційності.

Коефіцієнт k являє собою тангенс кута нахилу лінії регресії до осі абсцис. Відповідно до цього із збільшенням величини повітропроникності нахил аеродинамічної характеристики до осі абсцис зменшується відповідно коефіцієнт k також зменшується. Саме цим можна пояснити різний нахил аеродинамічних характеристик на рис. 2 та 3.

Проаналізувавши аеродинамічні характеристики нетканих фільтрувальних матеріалів, встановлено, що коефіцієнт k залежить від повітропроникності і має степеневий характер (рис. 9).

Залежність коефіцієнту k від повітропроникності, яку наведено на рис. 9 описується наступною формулою:

$$k = 200,1 \cdot q_n^{-0,997} \quad (5)$$

де, q_n - повітропроникність фільтрувального матеріалу при аеродинамічному опорі 200 Па, $\text{м}^3/\text{м}^2\text{-с}$.

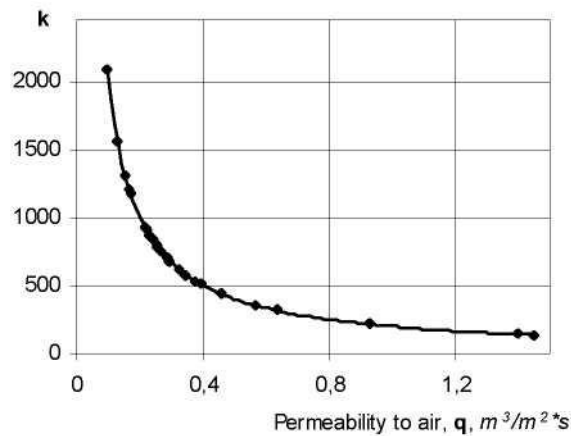


Рис. 9. Залежність коефіцієнта k від повітропроникності

Коефіцієнт кореляції між дослідними даними і даними, які отримано за формулою 5 становить 0,99, що свідчить про високий зв'язок між досліджуваними ознаками.

Залежність повітропроникності та коефіцієнту k дає можливість отримати комплексну емпіричну залежність аеродинамічного опору нетканних фільтрувальних матеріалів виду:

$$H = f(q_n) \cdot \frac{Q}{F} \quad (6)$$

Підставляючи формулу 5 у рівняння 4 отримуємо формулу для розрахунку аеродинамічного опору нетканних фільтрувальних матеріалів:

$$H = 10(200,1 \cdot q_n^{-0,997}) \cdot \frac{Q}{F} \quad (7)$$

Формула 7 пов'язує опір нетканого фільтрувального матеріалу із питомим навантаженням на матеріал і повітропроникністю матеріалу незалежно від структури матеріалу. Наведена формула може використовуватися для розрахунку аеродинамічного опору нетканних фільтрувальних матеріалів для роботи фільтрів на чистому повітрі.

Висновки

Аеродинамічні характеристики нетканних фільтрувальних матеріалів мають лінійний характер. Щільність матеріалів суттєво не впливає на їх аеродинамічний опір, на опір матеріалів суттєво впливає повітропроникність. Неткані фільтрувальні матеріали можуть мати однакову щільність і мати різну аеродинамічну характеристику і навпаки. Отримано залежність, що пов'язує повітропроникність із питомим навантаженням та опором матеріалу.

Література

1. Adrian Chappell, George L. Heritage. Using illumination and shadow to model aerodynamic resistance and flow separation: An isotropic study / *Atmospheric Environment*, Vol. 41, Is. 28, 2007, Pp. 5817-5830
2. Adrian Chappell, Scott Van Pelt, Ted Zobeck, Zhibao Dong. Estimating aerodynamic resistance of rough surfaces using angular reflectance / *Remote Sensing of Environment*, Vol. 114, Is. 7, 2010, Pp. 1462-1470
3. A.D. Zewdu. Aerodynamic properties of tef grain and straw material / *Biosystems Engineering*, Vol. 98, Is. 3, 2007, Pp. 304-309
4. Веселов С. А., Веденьев В.Ф. Вентиляционные и аспирационные установки предприятий хлебопродуктов. - М.: Колос, 2004. - 240 с.
5. Турчанинова Т.П. Техника и технология безстарного хранения муки. - М.: Пищепромиздат, 2009. - 540 с.
6. Шопин В.М. Исследование процессов выделения дисперсного углерода из аэрозольных потоков. - Омск, Российский химический журнал, 2007, №4.
7. Maitri Thakur, Bobby J. Martens, Charles R. Hurburgh. Data modeling to facilitate internal traceability at a grain elevator / *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 75, Is. 2, 2011, Pp. 327-336

References

1. Adrian Chappell., George L. Heritage. (2007), Using illumination and shadow to model aerodynamic resistance and flow separation: An isotropic study, *Atmospheric Environment*, 41(28), pp. 5817-5830.
2. Adrian Chappell., Scott Van Pelt., Ted Zobeck., Zhibao Dong. (2010), Estimating aerodynamic resistance of rough surfaces using angular reflectance, *Remote Sensing of Environment*, 114(7), pp. 1462-1470.
3. A.D. Zewdu. (2007), Aerodynamic properties of tef grain and straw material, *Biosystems Engineering*, 98(3), pp. 304-309.
4. Veselovpp.A., Veden'ev V.F. (2004), Ventilyatsionnye i aspiratsionnye ustanovki predpriyatij khleboproduktov, Kolos, Moscow.
5. Turchaninova T.P. (2009), *Tekhnika i tekhnologiya bestarnogo khraneniya muki*, Moscow.
6. Shopin V.M. (2007), Issledovanie protsessov vydeleniya dispersnogo ugleroda iz aerazol'nykh potokov, *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*, 4.
7. Maitri Thakur., Bobby J. Martens., Charles R. Hurburgh. (2011), Data modeling to facilitate internal traceability at a grain elevator, *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(2), pp. 327-336.