

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ, ЯКІ ВІДБУВАЮТЬСЯ У ПИЛОВЛОВДЮВАЧІ З ЖАЛЮЗІЙНИМ ВІДОКРЕМЛЮВАЧЕМ, ЯКИЙ ОБЕРТАЄТЬСЯ

Наведено математичну модель процесу очищення пилогазового потоку в відцентрово-інерційних пиловловлювачах і результати її реалізації, які підтверджено в складних процесах пилоочищення, що застосовуються у технологіях машинобудування. Описано нові тенденції у даному напрямі, які засновано на використанні відцентрово-інерційних сил з метою підвищення ефективності процесу пилоочищення.

In the article it is considered mathematical model of process of cleaning of dust-laden stream in centrifugal - inertia vehicles and results are resulted designs confirmed at conducted complex processes of dust collection in work of mashinbuilding.. The article describes new trends in the development of dust catching apparatuses based on the use of centrifugal-inertial forces, permitting to improve significantly the effectiveness of dust catching.

Постановка проблеми

На даний час ситуація в області техногенної безпеки на Україні викликає особливу тривогу високий рівень аварійності існуючих технічних об'єктів і недостатні можливості в рішенні проблеми інженерної екології. Якщо у сфері оцінки шкідливих впливів на воду, ґрунт, повітря в області екологічної експертизи виробництв і моніторингу середовища, статистичному обліку кількості промислових і побутових викидів, а також у створенні полігонів і смітників відходів є певні досягнення, то у розробці нових екологічно чистих і безпечних технологій переробки відходів науково-технічна активність вочевидь недостатня.

Тому потрібна розробка наукового підходу до питань охорони праці, екологічності й техногенної безпеки. Зазначимо, що відомі підходи до проблеми техногенної безпеки розрізнені, часом відсутні науково обґрунтовані методи оцінки й кількісні критерії рівня безпеки, недостатньо використовуються можливості в області комп'ютерних технологій, сучасних методів дослідження й математичне моделювання.

У регіонах, де розташовано ливарне виробництво, постійно зберігається екологічна напруженість, причому на неї впливають сезонні коливання, різко погіршуючись у літні місяці року через те, що витрати газу на власні потреби ливарного виробництва значно скорочуються, і тому його вивільнені ресурси просто спалюються у «свічах» або викидається без доспалювання до атмосфери. Отже, сьогодні гостро стоїть проблема вирішення цього питання.

Захист атмосферного повітря від забруднення є однією з найактуальніших проблем сучасності. Ливарне підприємство (ЛВ) – це сукупність специфічних виробництв, які пов'язано з високотемпературною обробкою

матеріалів без доступу повітря та переробкою повітря, яке виділяється при цьому, з одержанням цілої низки цінних хімічних продуктів. Традиційні технологічні процеси у багатьох випадках пов'язано з виділенням до атмосфери повітря шкідливих речовин, що входять до складу ливарного виробництва, таких як аміак, оксид вуглецю, оксид азоту, діоксид сірки, сірководень, ціаністий водень, бензол, нафталін, феноли, а також пилу. Усі ці речовини є пожежо-вибухонебезпечними і через це дуже гостро стоїть проблема зниження їх концентрацій до певних допустимих норм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Оскільки аспіраційні системи оснащено пиловловлюючими апаратами, є певна недооцінка внеску організованих викидів у забруднення атмосферного повітря. Водночас інвентаризація викидів на багатьох ЛВ показала, що пилові викиди від організованих джерел сягають 30% усіх викидів, а на ЛВ із сухим пиловловленням – до 70%. Крім того, у низці випадків технічні рішення вибору обладнання для обезпилення не відповідають висунутим вимогам, тому існує проблема підвищення ефективності та надійності пиловловлювачів. На ЛВ продовжують застосовувати вологі пиловловлювачі, й у зв'язку цим існує проблема переробки й утилізації шламових вод. Тому перехід на сухі методи пиловловлення набуває актуальності й значимості, оскільки мова йде не тільки про захист повітряного басейну промислових площадок і населених пунктів від пилових забруднень, але й про охорону водойм, зменшення водоспоживання, поліпшення економічних показників виробництва. Особливо це стосується проблеми вловлення пилу, що визначається прогнозованим розширенням впровадження установок очистки повітря від пилу, екологічна

оцінка яких у значній мірі залежить від успіхів в обезпиленні газів і аспіраційного повітря.

Першочерговою проблемою в процесі виробництва литва займають питання очистки повітря від пилу, причому, це можуть бути тільки сухі методи очищення через те, що вологі процеси негативно впливають на сам процес виробництва литва.

Існуючі на даний час установки пилоочистки здатні вловлювати тільки великодисперсні фракції пилу, але у ливарному виробництві найбільшу шкоду і процесу, і здоров'ю людей, і екології наносять саме дрібнодисперсні частинки пилу, вловлення яких лишається неможливим.

У даній роботі розглянуто сухий метод очистки повітря від пилу, при якому відбувається також зниження пожежо-вибухонебезпечних якостей пилу.

Постановка завдання.

У зв'язку з вищезначеним виникає необхідність у створенні такого апарата, який зможе вловлювати полідисперсний пил з достатньо високою ефективністю, достатньою для того, щоб уникнути пожеж і вибухів його. Для цього необхідно розробити принципово нові апарати, конструктивні особливості яких, забезпечать високоефективне вловлення полідисперсного пилу, звівши можливість їх пожежі та вибуху до мінімуму.

Метою роботи є обґрунтування доцільності заміни недостатньо ефективної та енерго-, металоємної системи очистки повітря від пилу в процесі ливарного виробництва на досконалішу та ефективнішу систему, порівняти технологічні і експлуатаційні параметри запропонованого і найкращого з існуючих апаратів та довести переваги першого, визначити шляхи подальших досліджень..

Виклад основного матеріалу

Аналізуючи вищенаведене, ми чітко можемо відзначити, що на сьогоднішній день для забезпечення санітарно-гігієнічних вимог охорони праці та довкілля в сучасному ливарному виробництві не існує апаратурної підтримки для викидів шкідливих речовин.

Для вирішення цієї задачі обрано форму корпусу, яку запропоновано в роботах К.І. Азарського з додержанням визначених ним конструктивних розмірів.

Таблиця 1

Визначення конструктивних розмірів корпусу пиловловлювача

Розмір пилу, 10^{-6} м	Довжина корпусу, 10^{-3} м	
	Циліндрино-конічної частини	Циліндричної частини
8	925	800
32	825	700
50	725	600

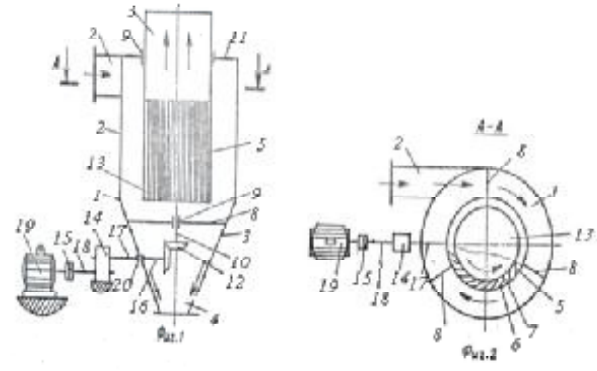


Рисунок 1 – Пилоловлювач з жалюзійним відокремлювачем, який обертається.

Усі запропоновані апарати захищено патентами України і відмінною особливістю їх є «ноу-хау»:

- по-перше – відцентрова очистка пилоповітряного потоку після входу його в апарат проводиться під дією відцентрових сил відомим способом аналогічно циклону,
- по-друге – розташування в корпусі апарата коаксіально осі жалюзійного відокремлювача як другого ступеня очистки;
- по-третє – певна форма жалюзі відокремлювача як третього ступеня очищення;
- по-четверте – додаткова доочистка повітря від дрібнодисперсного пилу після очистки в жалюзійному відокремлювачі за рахунок його обертання.

Таким чином ми отримали апарати, в яких здійснюється чотирьохступеневе очищення повітря від пилу. Установки сухого очищення складаються з відцентрово-інерційних апаратів пилоочистки, які містять в одному корпусі пиловловлювача одночасно чотири ступеня очищення: відцентрове, інерційне (під час проходження через жалюзі відокремлювача), в самих жалюзі і в просторі, утвореному всередині відокремлювача у напрямку до пиловипускного патрубку.

Запропоновано конструкцію пиловловлювача з рухомих відокремлювачем (рисунок 1), у якому очистка повітря від пилу відбувається за рахунок виконання жалюзійного відокремлювача рухомих, що дозволяє йому обертатися навколо своєї осі під дією пилоповітряного потоку, який вводять до апарата, або примусово, що веде до збільшення дії відцентрових сил, запобігає проникненню дрібнодисперсних частинок пилу всередину його, захоплюючись пилоповітряним потоком, і до вирівнювання тисків усередині корпусу апарата.

Вхід пилоповітряної суміші здійснюється тангенційно до корпусу 1 через патрубок 2, де вона гвинтоподібно з великою швидкістю рухається зверху донизу спочатку вздовж циліндричної частини корпусу 1, а потім вздовж його конічної частини. Після попадання до апарату на потік діє відцентрова сила, за рахунок якої відбувається пошпа-

рове розділення потоку, і до жалюзійного відокремлювача потік підходить розділеним на два: біля стінки корпусу рухається великодисперсний потік, а навколо вихлопного патрубку – дрібнодисперсний. Жалюзійний відокремлювач 5 є другим ступенем очистки, при проходженні через нього відбувається доочистка, вже пошарово розділеного потоку, від дрібнодисперсних частинок пилу, а після проходження через щілини його виноситься з апарата через патрубок 3.

Вторинна очистка повітря від пилу здійснюється поспідовно у напрямку до пиловипускного патрубку при проходженні потоку через щілини 7 жалюзійного відокремлювача 5, який розташовано коаксіально усередині циліндричної частини корпусу апарата 1. Якщо б жалюзійний відокремлювач 5 не обертався, пилоповітряний потік доочистився би, проходячи у щілини 7 між жалюзі 6, стикаючись з останніми і виділяючи при цьому відомим способом дрібнодисперсні частинки пилу. У такому варіанті найдрібніші частинки пилу проскакують разом із повітрям всередину жалюзійного відокремлювача 5, що не сприяє підвищенню ефективності його роботи.

Механізм обертання жалюзійного відокремлювача 5 працює наступним чином. При включенні привода 19 обертання жалюзійного відокремлювача 5 передається поспідовно через муфту 15, вал 18, редуктор 14, вал 17, зубчасту конічну пару 12 і вал 10. Разом із жалюзійним відокремлювачем 5 обертається і вихлопний патрубок очищеного повітря 3. Жалюзійний відокремлювач 5 обертається у бік, протилежний напрямку обертання пилоповітряної суміші всередині корпусу 1 апарата, віддаючи частину своєї кінетичної енергії пилогазовому потоку.

У залежності від експлуатаційних характеристик (продуктивності, дисперсного, морфометричного та хімічного складу, концентрації пилу тощо) вибирається певна швидкість обертання жалюзійного відокремлювача 5. За рахунок того, що жалюзійний відокремлювач 5 і пилогазовий потік обертаються у протилежні сторони, жалюзі 6 відокремлювача 5 весь час повернуто своєю вгнутістю по напрямку руху пилоповітряної суміші (вони встановлені погнутістю назустріч йому) і при обертанні відкидають або підштовхують частинки пилу в напрямку до зовнішньої стінки корпусу 1 апарата, запобігаючи таким чином їх руху всередину жалюзійного відокремлювача 5 через щілини 7 між жалюзі 6.

Відтак, ефективність роботи пиловловлювача зберігається досить високою у широкому діапазоні режимів його роботи через створення примусової зміни швидкості обтікання повітряним потоком жалюзійного відокремлювача 5, чим досягається вибір оптимальних параметрів проходження через пиловловлювач очищеного повітря, тобто відбувається додаткова доочистка пилоповітряної суміші і збереження постійної швидкості проходження її через щілини 7 між жалюзі 6.

На рисунку 2 зображено траєкторії руху повітряних потоків у запропонованому пиловловлювачі.

Треба зазначити, що максимальної величини в цій частині корпусу вона досягає приблизно посередині простору, утвореному циліндричним корпусом апарата і жалюзійним відокремлювачем.

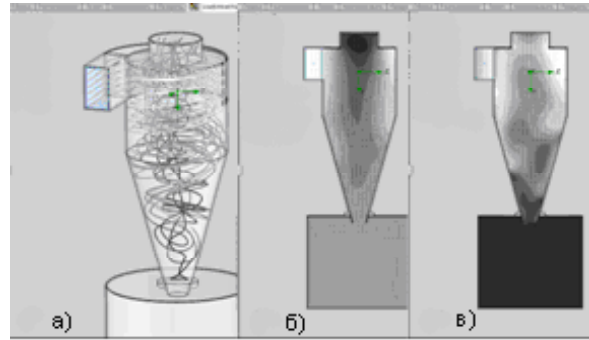


Рисунок 2 – Траєкторії руху повітряних потоків у запропонованому пиловловлювачі
а) траєкторії руху пилоповітряного потоку всередині корпусу пиловловлювача без обертання жалюзійного відокремлювача; б) розподіл тиску всередині корпусу пиловловлювача без обертання жалюзійного відокремлювача; в) розподіл швидкостей усередині корпусу пиловловлювача без обертання жалюзійного відокремлювача

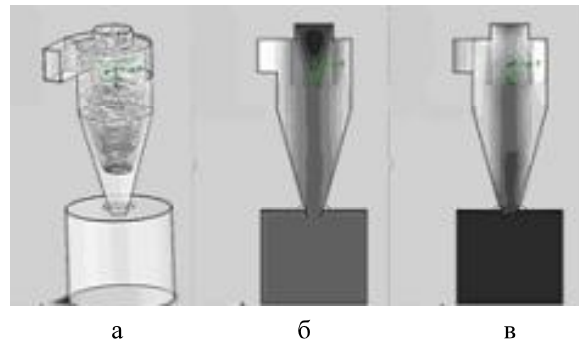


Рисунок 3 – Траєкторії руху повітряних потоків у запропонованому пиловловлювачі:
а) траєкторії руху пилоповітряного потоку всередині корпусу пиловловлювача при обертанні жалюзійного відокремлювача при протиході потоку зі швидкістю 1 рад/с; б) розподіл тиску всередині корпусу пиловловлювача при обертанні жалюзійного відокремлювача при протиході потоку зі швидкістю 1 рад/с; в) розподіл швидкостей всередині корпусу пиловловлювача при обертанні жалюзійного відокремлювача при протиході потоку зі швидкістю 1 рад/с.

Усередині жалюзійного відокремлювача швидкість зразу ж падає (після проходження через щілини між жалюзі відокремлювача), а з опусканням потоку вздовж осі апарата зверху донизу швидкість його руху зменшується як в корпусі апарата, так і усередині відокремлювача внаслідок виходу частини повітря через жалюзійний відокремлювач вгору до патрубка виходу очищеного повітря і через нього і вентилятор до атмосфери. Найнижчі швидкості потоку зафіксовані на осі апарата і вони також зменшуються в напрямку зверху до низу, що пояснюється викидом очищеного повітря через патрубок виходу очищеного повітря вгору. Тобто, надходячи до пиловловлювача пилоповітряний потік зі швидкістю 18–20 м/с, у корпусі

його починає рухатися вже зі швидкістю 21,5–34 м/с, зменшуючи цю величину як зверху до низу, так і при проходженні через щілини між жалюзі і всередині жалюзійного відокремлювача. У кінчній частині корпусу апарата вже при підході до бункера і в самому бункері всі швидкості руху сягають свого мінімального значення.

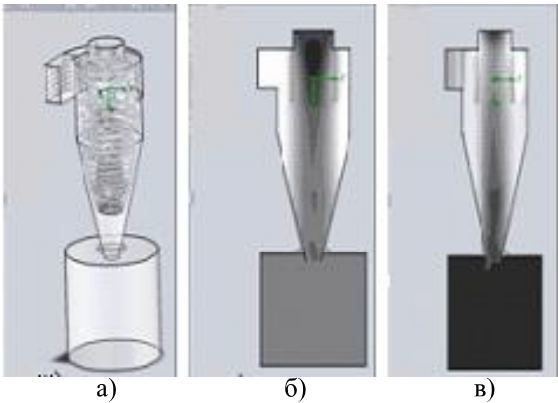


Рисунок 4 – Траєкторії руху повітряних потоків у запропонованому пиловловлювачі:

- а) траєкторії руху пилоповітряного потоку всередині корпусу пиловловлювача при обертанні жалюзійного відокремлювача по ходу потоку зі швидкістю 1 рад/с; б) розподіл тиску всередині корпусу пиловловлювача при обертанні жалюзійного відокремлювача по ходу потоку зі швидкістю 1 рад/с; в) розподіл швидкостей всередині корпусу пиловловлювача при обертанні жалюзійного відокремлювача по ходу потоку зі швидкістю 1 рад/с.

Проаналізувавши побудовані на рисунках 2–4 траєкторії руху повітряних потоків і розподіл швидкостей потоку повітря у запропонованому пиловловлювачі, ми отримали цікаві і необхідні для подальшої роботи з проектування пиловловлювачів принципово нового типу залежності швидкостей і траєкторій руху потоку в різних перерізах апарата від його конструктивних і геометричних параметрів. Проведені дослідження дозволяють спроектувати пиловловлювач з чітко обмеженими конструктивними його розмірами, які визначаються швидкостями руху повітряного потоку в залежності від необхідних для покращення ефективності роботи апарата параметрами.

Рисунки також пояснюють рух повітряного потоку в зоні дії жалюзі відокремлювача та всередині його. При підході до жалюзійного відокремлювача ще при русі його у просторі відокремлювача, внаслідок виходу частини повітря через жалюзійний відокремлювач вверх до патрубку виходу очищеного повітря і через нього і вентилятор до атмосфери. Найнижчі швидкості потоку зафіксовано на осі апарата, і вони також зменшуються в напрямі зверху донизу, що пояснюється викидом очищеного повітря через патрубок виходу очищеного повітря вверх. Надходячи до пиловловлювача пилоповітряний потік зі швидкістю 18–20 м/с, починає рухатися вже зі швидкістю 21,5–34 м/с. Усередині жалюзійного відокремлювача швидкість одразу ж падає (після проходження через щілини між жалюзі відокремлювача), а з опусканням потоку вздовж осі апарата зверху донизу швидкість його руху зменшується як

корпусі апарата, так і всередині у напрямку до відокремлювача і досягає свого відокремлювача. При цьому максимальної величини в цій частині корпусу вона досягає приблизно посередині простору, утвореному циліндричним корпусом апарата апарат і лишається майже незмінною вздовж всієї довжини жалюзійного мінімального значення при підході до жалюзі. Вздовж самої жалюзі її значення є дещо вищим, що сприятиме концентруванню біля жалюзі найдрібнішої фракції, яку бажано у будь-який спосіб вивести з середини жалюзі та видалити в напрямку до бункера.

Розподіл тиску в пиловловлювачі також добре ілюструє процес зниження статичного тиску в апараті при русі його від стінки корпусу до жалюзійного відокремлювача та значне зниження його всередині жалюзійного відокремлювача. Картина розподілу тиску в пиловловлювачі аналогічна з розподілом швидкості руху повітряного потоку в ньому, про що вже було пояснено вище.

Як видно з рисунків 2–4 розподіл тисків і швидкостей носить спокійний характер, описаний вище. При обертанні жалюзійного відокремлювача в протиході руху пилоповітряної суміші в апараті зі швидкістю 1 рад/с частинки пилу рівномірно розподіляються в корпусі апарата через збільшення дії відцентрової сили, тобто весь потік концентрується вздовж осі апарата. Що стосується швидкостей потоку, то швидкості також падають вздовж осі пиловловлювача, причому вони зсунуті зверху донизу, у бік патрубка виходу пилу. Картина розподілу тисків носить вочевидь направлений характер: тиск різко падає в напрямку від вхідного патрубка до осі апарата, також очевидна тенденція підштовхування потоку у бік циліндричного корпусу пиловловлювача одразу після входу потоку до патрубка виходу пилу, тобто зверху донизу.

Проаналізувавши траєкторії, швидкості та тиски, які розподіляються всередині корпусу пиловловлювача, ми дійшли висновку, що при обертанні жалюзійного відокремлювача по ходу руху потоку, тобто пилоповітряна суміш і жалюзійний відокремлювач обертаються в один і той же бік, створюються найсприятливіші умови проведення процесу очистки повітря від частинок пилу, що і було застосовано в запропонованій конструкції апарата.

З наведених траєкторій руху пилу можна зробити висновок, що у загальному вигляді процес очищення повітря у запропонованих апаратах відбувається наступним чином. Пилоповітряна суміш тангенційно надходить до корпусу апарата через вхідний патрубок і продовжує свій рух зверху донизу до пиловипускного патрубка, не змінюючи напрямку свого руху. На вході до апарата пилоповітряна суміш рухається прямолінійно, запиленість газового потоку по розрізу апарата залишається практично рівномірною, і швидкість руху частинок пилу дорівнює швидкості входу газового потоку в апарат. На наступному етапі руху донизу під дією відцентрової сили тверді частинки відкидаються до зовнішньої стінки апарата, але концентрації частинок пилу в периферійній зоні корпусу перешкоджає явище рикошетування частинок в результаті їх стикання зі стінкою.

Внаслідок цього, при великій швидкості потоку збільшується початкова швидкість обертання частинки, її

підймальна сила і величина її радіального переміщення під впливом цієї сили, а при цьому рух окремих відбитих від стінки частинок амортизується частинками, які рухаються до стінки, і це відбувається в усьому потоці. Таким чином, на цій ділянці проходить первинний пошаровий розподіл потоку, причому, найбільш забрудненим шаром, який несе найбільші частинки, є шар біля зовнішньої стінки, а найбільш чистим — шар, який протікає вздовж жалюзійного відокремлювача. Для здійснення процесу розділення пилогазового потоку під дією відцентрових сил достатньо половини обертання потоку навколо патрубку виходу очищеного повітря.

У подальшому очищений від великодисперсного пилю потік змінює напрямок свого руху для проходження через щілини між жалюзі відокремлювача і кут цього повороту $90^\circ < \alpha < 180^\circ$.

На ділянці розташування жалюзійного відокремлювача на частинки пилю продовжує діяти відцентрова сила, яка намагається відкинути їх до зовнішньої стінки корпусу апарата, але її вплив ослаблений через наявність радіального руху потоку до центра апарата через жалюзі, який передусім впливає на найдрібніші частинки і на частинки пилю, які рухаються з внутрішньою частиною потоку. Залежно від того, яка сила перемагає, відцентрова чи радіальна, частинки пилю або продовжуватимуть рухатися по обертовій гвинтовій траєкторії вздовж корпусу апарата зверху донизу, або, захоплені радіальним стоком, стануть рухатися до центра апарата. Шари пилоповітряної суміші, які досягають жалюзійного відокремлювача (завдяки конструкції жалюзі), оминають жалюзі під дуже малим кутом атаки (кутом між напрямком руху повітря і площиною кожної жалюзі). Тверді частинки пилю, захоплені радіальною течією потоку, вдаряються в жалюзі відокремлювача, відбиваються від них, підхоплюються рухомим потоком, вдаряються в наступну жалюзі і т.д., доки не потраплять до потоку, який рухається вздовж зовнішньої стінки і транспортує їх до виходу з апарата до бункера. Очищений таким чином пилоповітряний потік проходить через отвори між жалюзі, а частинки пилю, які виділяються з нього при цьому або відбиваються до стінки корпусу, або сповзають по жалюзі донизу через пиловипускний патрубок до бункера.

Висновки

Доведено, що перепад статичного тиску в сепараційній зоні пиловловлювача з жалюзійним відокремлювачем, який обертається, у 4–12 разів менший у порівнянні з аналогічним циклоном з традиційною вихлопною трубою, Встановлення жалюзійного відокремлювача, що обертається, підвищує ефективність роботи пиловловлювача на 5–7 %, а гідравлічний опір апарату при цьому знижується порівняно з еталоном у 1,7–2,4 рази.

Визначені оптимальні конструктивні розміри жалюзі відокремлювача дозволили не тільки збільшити ефективність роботи апарата, але і знизити гідравлічний опір його в 1,2 рази.

Підвищення ефективності пиловловлення і зменшення гідравлічного опору його (енергоємності) дозволяє говорити про широкі перспективи впровадження цих апаратів у всіх без винятку галузях господарства і, в першу чергу, для очищення повітря в ливарному виробництві.

Література

1. Батлук, В.А., Макаруч В.Г. Дослідження апаратів для вловлення дрібнодисперсного пилю // Матеріали XI міжнародної науково-практичної конференції з проблем видавничо-поліграфічної галузі. — К., 2010. — С. 16—17.
2. Батлук, В.А. Зниження концентрації дрібнодисперсного пилю, як метод усунення пожежо-вибухонебезпечних якостей пилю / В.А. Батлук, В.Г. Макаруч, Р.Ю. Сукач, І.В. Проскуріна // Наукові записки. — 2010. — №2 (52). — С. 164–172.
3. Секційний пиловловлювач; Патент на корисну модель № 50404 Заявка № (и200912036) В01Д45/00 від 23.11.2009. Опубл. 10.06.2010, Бюл. №11.
4. Батлук, В.А. Дослідження апаратів для вловлення дрібнодисперсного пилю / В.А. Батлук, В.Г. Макаруч // Матеріали XI міжнародної науково-практичної конференції з проблем видавничо-поліграфічної галузі. — К., 2010. — С. 16—17.
5. Батлук, В.А. Основи безпеки життя та діяльності людини / В.А. Батлук, Є.В. Романцов, В.Г. Макаруч // Тези доповідей XI міжнародної науково-методичної конференції Безпека життя і діяльності людини-освіта, наука, практика. — Львів, 2010. — С. 246–247.

Надійшла 20.04.2012 року