

УДК 621.742.22

**Ю. О. Свинороєв**, канд. техн. наук, доцент, e-mail: desna.us@yandex.ru

Кам'янський технологічний інститут (філія) Південно-Російського державного політехнічного університету (НПІ) ім. М.І. Платова, м. Кам'янськ-Шахтинський, Росія

### ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ В'ЯЖУЧИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ ЛИВАРНОЇ ГАЛУЗІ

Традиційно основною заготовчою базою машинобудівної галузі є ливарне виробництво. На долю його продукції в структурі її потреб припадає від 40 до 60 %, при цьому частка литва, що виробляється у пісчаних разових формах, складає близько 80 %. Такий стан зумовлює важливість та значущість забезпечення відповідної якості ливарної форми та дотримання, за цих умов, екологічної безпеки у ливарному виробництві в цілому. У результаті проведеного дослідження встановили, що в'яжучі матеріали є визначальною складовою в процесах литва. Ця складова зумовлює не тільки технологічні можливості процесу виробництва, але й комплекс питань, що виникають на різних етапах його здійснення: собівартість процесу, санітарно-гігієнічні умови праці персоналу ливарного цеху, екологічний стан у місцевості, де розташоване підприємство. Саме в'яжучі сполуки є головними джерелами викидів в атмосферу високотоксичних речовин першого і другого класів небезпеки (бензапірен, формальдегід, акролеїн і т. д.). Альтернативою домінуванню синтетичних смол, за сучасних умов розвитку ливарного виробництва, могли б стати лігносульфонатні матеріали: екологічні, недорогі і, що істотно, не схильні до здорожчання, оскільки первинним джерелом їх виробництва служать продукти переробки рослинної сировини – природного поновлюваного ресурсу. На сучасному ринку в'яжучих цей клас матеріалів представлений технічними лігносульфонатами (ЛСТ) (ТУ 13-0281036-029-04), проте їх застосування як ливарного в'яжучого стримується незадовільністю показників якості (низька в'яжуча здатність, нестабільність властивостей, висока гігроскопічність стрижнів і форм, виготовлених на основі ЛСТ) щодо технічних вимог багатьох технологій ливарного виробництва. На основі створених ливарних в'яжучих матеріалів розроблено склади стрижньових сумішей, що дозволяють понизити об'єм токсичних газових викидів порівняно з сумішами на основі відомих і широко вживаних в'яжучих матеріалів типу КО і УСК в 2,7–14 разів, що дозволило звести вміст шкідливих речовин в газових викидах до рівня гранично допустимих концентрацій (ГДК). Це стало можливим за рахунок використання у складі суміші екологічно чистих в'яжучих матеріалів на основі ЛСТ з підвищеними показниками міцності.

**Ключові слова:** ливарна галузь, інноваційні технології, в'яжучі матеріали, рослинна сировина, в'яжуча спроможність, екологічна безпека, екологічна ефективність.

**Актуальність проблеми.** Ливарне виробництво України в умовах, що склалися, є одним з найбільш перспективних, але поки не оцінених повною мірою, об'єктів інвестування [1, 2]. Відомо, що найбільшою статтею зароблених валютних надходжень України є випуск і експорт металопрокату. Цей показник варіюється в межах 42–44 % від загального об'єму всіх надходжень держави, в той же час одна

тонна будь-якого литва за вартістю еквівалентна 5–7 тоннам металопрокату, що експортується [1, 2, 6]. Об'єми виробництва і споживання литва у світі в 2010–2011 рр. склали близько 89–91 млн т, що у вартісному еквіваленті становило приблизно € 350–370 млрд. Важливо відмітити, що в передкризовий час, у 2007 р. було вироблено загалом 67 млн т литва, тобто ливарне виробництво не тільки не зменшило об'ємів виготовлення продукції, а й навіть зуміло їх наростити [1].

На теперішній час в Україні залишається не вирішеним питання стосовно литва. Адже 1 млн т експортованого литва за вартістю відповідає 5 млн т прокату. Продаючи в п'ять разів меншу кількість продукції, можна отримувати такий же прибуток. Якби Україна експортувала не прокат, а литво, то могла б отримувати прибуток в розмірі € 20 млрд щорічно [1, 2].

Розвиток ливарного виробництва вимагає адекватних технологічних рішень. Нарощуючи виробництво литва, потрібно забезпечити ефективність ливарних технологій, а це в сучасному розумінні не тільки валові економічні показники, але і екологія, безпека праці, ресурсоефективність і різноманітні соціальні аспекти, пов'язані з виробничим процесом.

*Мета дослідження* полягає в пошуку інноваційних рішень в площині використання нових матеріалів на прикладі використання можливостей та практичній розробці ефективних способів підвищення в'язучої спроможності лігносульфонатних матеріалів (ЛСТ) для створення на їх основі нових екологічно безпечних та якісних формувальних в'язучих для використання в ливарних технологіях замість токсичних та недешевих масляних та смоляних матеріалів.

*Викладення змісту дослідження.* Оцінюючи значущість згаданих аспектів, доцільно розглянути найуразливіші елементи технологій литва, а саме, звернути особливу увагу на в'язучі матеріали, які є невід'ємною частиною практично будь-якого технологічного процесу виготовлення литва. Вони, перш за все, є носіями потенційних екологічних небезпек для навколишнього середовища, оскільки на етапах технологічного процесу виділяють найбільш небезпечні токсини (речовини першого і другого класу небезпеки) [9, 10, 14]. Дуже поширені наразі в ливарному виробництві українських підприємств фенольні смоли та масляні в'язучі здебільшого не відповідають вимогам безпеки, а рідке скло дуже часто не задовольняє умовам технологічності, тому доцільно розглянути альтернативні рішення, звернувшись до лігносульфонатних матеріалів як найбільш безпечних з екологічного погляду, технологічних та перспективних в'язучих [11–15]. Найвідомішим представником цього класу матеріалів на підприємствах ливарної галузі є технічні лігносульфонати (ЛСТ).

Все це зумовлює необхідність детальнішого вивчення цього питання в контексті оцінки можливостей використання лігносульфонатних в'язучих матеріалів, що вимагає системного дослідження і аналізу досвіду застосування ЛСТ у ливарному виробництві, виявлення причин, стримуючих їх ширше застосування і пошуку шляхів їх подолання.

В'язучі матеріали в сучасному виробництві є визначальним елементом багатьох технологічних процесів не тільки литва [3, 4, 5, 7, 8]. Вони широко застосовуються у різних галузях промисловості для вирішення багатьох завдань [16–22]: виробництва деревно-стружкових і деревно-волокнистих плит, виготовлення виробів будівельного призначення, брикетування сипких матеріалів, випуск композитів, виготовлення ливарних форм і стрижнів у ливарному виробництві та ін. По суті, в'язучі матеріали – це різновид клеїв, що використовуються для технічних потреб [3, 7, 8, 23].

Використання в'язучих матеріалів в різноманітних технологічних процесах виробництва зумовлено необхідністю вирішення сукупності багатьох питань, що стосуються не тільки техніки і технології, але і економіки, екології, безпеки праці і т. д., що визначають зміст багатогранності проблеми розробки, створення і застосування цього типу матеріалів. Технічний аспект цієї проблеми визначається складністю і різноманітністю процесів, в яких бере участь в'язучий матеріал на етапах свого життєвого циклу, на якому піддається різним діям і зазнає множинних

## Проблеми технології форми

фазових перетворень – від об'ємного рідкого (як правило) стану до газифікації в процесі термодеструкції на етапі заливки форм у ливарному виробництві [24, 25].

На ливарних підприємствах в'язучі матеріали – це визначальний компонент технологічного процесу, від якого залежать кінцеві показники роботи ливарного виробництва (рисунок), а саме: якість литва – безпосередньо від якості ливарної форми і вживаних ливарних стрижнів; технічні і технологічні можливості ливарної технології (складність відливань по геометрії поверхні, по конструкції, за матеріалом – чавун, сталь, кольорові сплави) – безпосередньо від якості і властивостей ливарної форми і вживаних ливарних стрижнів [11, 22, 24]; економічні показники роботи підприємства в цілому, оскільки в структурі собівартості литва вартість в'язучих матеріалів займає одне з провідних місць [7, 11]; санітарно-гігієнічні умови праці в ливарному цеху визначаються саме станом токсикологічних властивостей в'язучих матеріалів [9, 10, 11]; екологічний стан виробництва в цілому визначається видом вживаного в даній технології в'язучого матеріалу, оскільки саме ці матеріали є головним джерелом, що визначає і формує головні погрози навколишньому середовищу за якістю викидів, а це речовини першого і другого класів небезпеки [9, 10, 11, 14, 15].

Перераховане свідчить про значимість в'язучих матеріалів у технологічних процесах ливарного виробництва. Зважаючи на це, для глибшого розуміння актуальності порушеного питання доцільно детальніше розглянути деякі з приведених аспектів.



Схема впливу в'язучих матеріалів, вживаних у ливарному виробництві, на основні аспекти його роботи

*Якість литва* – це комплексний показник, що характеризує відповідність відливаним критеріям якості, вказаних у технологічних регламентах (ТУ, стандарти) на виробництво даного виду литва, як правило, це чистота поверхні відливання і її розмірна точність. Відповідно до доведених і загальновідомих постулатів класиків ливарного виробництва, таких як Берг П. П., Гуляев Б. Б., Куманін І. Б. і Лясс А. М. [3, 25], саме ці показники якості відливань формуються і однозначно зумовлюються параметрами якості ливарної форми. Перш за все, вони визначаються точністю геометрії її робочих поверхонь, податливістю, протипригарними характеристиками, газоутворюючою здатністю і т. д., тобто показниками, які, у свою чергу, забезпечуються якістю в'язучих матеріалів, застосованих при виготовленні піщаної ливарної форми або стрижня. Слід враховувати масштабність застосування подібних технологій в сучасній ливарній індустрії, а саме те, що близько 80 % усіх відливань в Україні проводиться в разових піщаних формах з використанням в'язучих матеріалів, а інша частина технологій у спеціальних способах литва широко застосовують піщані стрижні. Тому масштаби значущості і домінуючої ролі в'язучих матеріалів у забезпеченні якості вироблюваного литва набувають особливого звучання, а проблематика, пов'язана з їх вдосконаленням і розробкою нових в'язучих матеріалів, не перестає бути актуальною у всі часи. Це підтверджується великою кількістю наукових публікацій, присвячених цим питанням [1, 8, 22, 24]. У контексті забезпечення якості литва при застосуванні сумішей на основі ЛСТ, спираючись на величезний накопичений досвід їх використання, можна говорити про їх хорошу технологічність, але істотним недоліком у виробленні якості відливань є низька в'язуча здатність і нестабільність властивостей. Як показано в роботах низки авторів, саме це є головною причиною, через що матеріал обмежений у застосуванні в ливарному виробництві, але є перспективним для розробки, особливо в даний час.

*Технічні і технологічні можливості* ливарної технології, перш за все, технології литва в піщані форми, також багато в чому визначаються показниками якості вживаних в'язучих матеріалів. Саме вони визначають такі показники, як механічна міцність, податливість стрижня або форми, їх стійкість до термічної напруги, гідродинамічних ударів, здатність формувати якісні поверхні і необхідні геометричні форми відливання, що у свою чергу впливає на можливості використання того або іншого виду сплавів, складність конструкції відливання та ін. [7, 24, 25].

Таким чином, важливим є те, що ливарний в'язучий матеріал формує технічні і технологічні можливості та обмеження даного технологічного процесу, а значить розширення технологічних можливостей в'язучих матеріалів за рахунок покращення їх показників якості, що безпосередньо пов'язано з розширенням технологічних можливостей виробництва литва. В зв'язку з цим, актуальним є пошук тих в'язучих матеріалів, які б мали розширений спектр технологічних можливостей та були б більш універсальними і могли застосовуватися для виробництва виливків з різноманітних сплавів з різним рівнем складності при забезпеченні заданої чистоти поверхні. Подібні завдання вирішувалися у низці сучасних робіт, присвячених розширенню технологічних можливостей ЛСТ.

У історичній ретроспективі проблема розробки і створення ефективних в'язучих матеріалів для ливарного виробництва не втрачала своєї актуальності. Про це свідчить безліч наукових праць в цій сфері, які стали наразі класикою технічної літератури з даної проблематики, а саме роботи Берга П. П., Гуляева Б. Б., Лясса А. М., Куманіна І. Б., Жуковського С. С. [2, 4, 5, 11, 25], присвячені різноманітним в'язучим матеріалам, і Дорошенка С. П., Семіка А. П., Васина Ю. П. – висвітлюють безпосередньо лігносульфонатні ливарні в'язучі матеріали [1].

Темі вдосконалення існуючих в'язучих матеріалів і розробці нового їх стану якості присвячено безліч наукових статей і в даний час. Актуальним, як і раніше, є питання пошуку ефективних технічних рішень по проблемах використання ЛСТ, про що свідчать численні публікації в науковій літературі. Як правило, сучасні статті порушують питання вдосконалення застосування тих або інших в'язучих матеріалів в конкретних техноло-

гічних процесах лиття. Проблематика, пов'язана з лігносульфонатними матеріалами, в роботах українських авторів звучить рідше, оскільки основним виробником ЛСТ є Російська Федерація. Державні кордони створюють «ефект відлякування», проте лігносульфонатні матеріали через величезну кількість їх позитивних якостей, а значить і перспективності, не втратили привабливості і для вітчизняних підприємств. Це означає, що у разі розробки ефективних способів усунення перерахованих обмежень ЛСТ (нестабільності властивостей і низької в'язучої здатності), цей матеріал можна розглядати як сировину для створення потенційно нових ливарних в'язучих матеріалів з новим рівнем споживчих властивостей. Володіння подібними технологіями трансформації властивостей ЛСТ може відкрити можливість купувати, обробляти і продавати їх, але вже як принципово новий ливарний в'язучий матеріал для ливарних і металургійних підприємств. Він може бути затребуваним та конкурентним в тій же Росії, Китаї та Індії, використовуватися на ливарних підприємствах цих країн, тобто можливо експортувати вже новий в'язучий матеріал, створений на основі ЛСТ, до цих країн, як це роблять всі розвинені країни світу.

У даний час через причини економічного характеру інтенсивність дослідницьких робіт в Україні по лігносульфонатній групі матеріалів значно знизилася, хоча проблеми розробки нових високоефективних в'язучих матеріалів є актуальними для України ще більшою мірою, ніж раніше.

Перш за все, це обумовлено впливом двох чинників: по-перше, різке зростання цін на групу в'язучих матеріалів, для яких первинною сировиною служить нафта та її похідні, призвело до того, що стало економічно невигідно використовувати багато традиційно вживаних на ливарних підприємствах України в'язучих матеріалів [7, 22]; по-друге, значне посилення екологічних вимог до виробництва виявило принципову неможливість застосування багатьох традиційних матеріалів унаслідок безпосередньої їх токсичності або токсичності продуктів, що утворюються при їх використанні. Відомо, що через свою природу в'язучі матеріали у багатьох випадках виявляються джерелами найбільш шкідливих викидів у навколишнє середовище, і, як правило, це речовини першого і другого класів небезпеки [9, 10], тобто саме вони є чинником екологічної загрози та зниження потенціалу виробництва за цих умов.

Розглянемо сучасні екологічні вимоги до процесів лиття. Слід зазначити, що екологічний імператив на тлі сучасних тенденцій функціонування і розвитку виробництва набуває все більшого значення.

Технологічні процеси виготовлення виливків характеризуються великим числом операцій, при виконанні яких виділяються пил, аерозолі і гази [10]. Пил та різні гази утворюються при приготуванні і регенерації формувальних і стрижньових сумішей, висушуванні ливарних форм та стрижнів, плавці ливарних сплавів у різних плавильних агрегатах, випуску рідкого металу з печі, позапічної обробці його і заливці у форми, при кристалізуванні виливків, на ділянці вибивки виливків, в процесі обрубання і очищення литва, при підготовці і транспортуванні початкових сипких матеріалів. У повітряному середовищі ливарних цехів, окрім пилу, у великих кількостях знаходяться оксиди вуглецю, вуглекислий і сірчистий гази, азот і його оксиди, водень, аерозолі, що містять особливо токсичні речовини, атмосфера ливарного цеху насичена оксидами заліза і марганцю, парами вуглеводнів і ін. Джерелами забруднень є плавильні агрегати, печі термічної обробки, сушилка для форм, стрижнів і ковшів, безпосередньо ливарні форми і стрижні в процесі їх виготовлення і застосування і т.п. [9].

Одним з критеріїв безпеки є оцінка рівня запахів. На атмосферне повітря доводиться більше 70 % всіх шкідливих викидів ливарного виробництва, при цьому особливо впливають саме елементи технології, що використовують ливарні в'язучі матеріали [10].

При виробництві однієї тонни литва зі сталі і чавуну виділяється близько 50 кг пилу, 250 кг оксидів вуглецю, 1,5–2 кг оксидів сірки і азоту і до 1,5 кг інших шкідливих речовин (фенолу, формальдегіду, ароматичних вуглеводнів, аміаку, ціанідів). У водний

басейн надходить до 3 куб. м стічних вод і вивозиться у відвали до 6 т відпрацьованих формувальних сумішей [10].

Застосування при виготовленні стрижнів і форм органічних в'язучих призводить до значного виділення токсичних газів в процесі сушки і, особливо, при заливці металу. Залежно від виду в'язучого матеріалу, в атмосферу цеху можуть виділятися такі шкідливі речовини як аміак, ацетон, акролеїн, фенол, формальдегід, фурфурол, бензапірен і т. д. [9].

При виготовленні форм і стрижнів з тепловою сушкою і в оснащенні, що нагрівається, забруднення повітряного середовища токсичними компонентами можливо на всіх стадіях технологічного процесу: виготовленні сумішей, при сушці стрижнів і форм, при охолодженні їх після витягання з оснащення [9, 10, 15].

Звертає на себе увагу якість викидів, що утворюються, це речовини другого і першого класів небезпеки [10, 15]:

бензапірен (клас небезпеки – I) – канцерогенна речовина, що викликає генні мутації і ракові захворювання. Утворюється при неповному згоранні масляних ливарних в'язучих матеріалів. Бензапірену властива висока хімічна стійкість і добра розчинність у воді, поступове накопичення у місцях його генерації, де не здійснюється відповідної інтенсивної вентиляції виробничих приміщень;

оксиди азоту (клас небезпеки – II) – подразнюють дихальні шляхи і кровоносні судини;

формальдегід (клас небезпеки – II) – загальноотруйна речовина, що викликає подразнення шкіри і слизової оболонки;

бензол (клас небезпеки – II) – має наркотичну, частково судомну дію на центральну нервову систему; хронічне отруєння може привести до смерті.

фенол (клас небезпеки – II) – сильна отрута, має загальнотоксичну дію, може всмоктуватися в організм людини через шкірні покриви.

Очевидно, що все це в умовах ливарного виробництва формує несприятливий кумулятивний ефект комплексної дії, при якій шкідливий вплив кожного окремого компонента (пилу, газів, температури, вібрації, шуму) різко збільшується [10].

Примітним є показник умовної токсичності різних ливарних в'язучих матеріалів (табл. 1.) [15].

Під умовною токсичністю розуміють об'єм чистого повітря, який необхідно подати у робочу зону ливарного цеху, де йде утворення екологічно небезпечних токсичних речовин, щоб їх знешкодити, розбавивши їх до рівня гранично допустимих концентрацій, що можуть бути безпечними та характеризують стан робочої промислової зони.

Так, за даними низки робіт [9, 10, 15] видно, що лігносульфонатні в'язучі матеріали є найбільш екологічними порівняно з іншими органічними в'язучими матеріалами, причому цей показник характерний для всіх найбільш небезпечних технологічних етапів виробництва литва (виготовлення суміші, сушка, заливка, вибивка – див. табл. 1).

Особливо цей показник ілюструє відносну екологічну чистоту лігносульфонатних матеріалів порівняно з фенолформальдегідними смолами та масляними в'язучими.

Наведені показники умовної токсичності органічних в'язучих матеріалів, що використовуються на ливарних підприємствах (табл. 1), підтверджуються різними інформаційними джерелами протягом останніх десятиліть (табл. 2).

Проведемо оцінку екологічних характеристик нових в'язучих композицій з ЛСТ.

При всій актуальності питання в науковій літературі все ще мало інформації про склад токсичних газовиділень від використання в'язучих матеріалів та сумішей на їх основі, вживаних в технологічних процесах лиття, хоча останнім часом почала з'являтися серйозна довідкова література, присвячена даній проблемі [9, 10], і відповідні наукові роботи [13].

Як було показано, першими в рейтингу забруднювачів навколишнього середовища в машинобудівному виробництві є формувальні і стрижньові відділення ливарних цехів. Причина полягає в тому, що саме на цих технологічних ділянках застосовуються матеріали, що представляють загрозу, як навколишньому середовищу, так і здоров'ю людини [9].

Такий технологічний устрій при нарощуванні виробництва литва неминуче при-

Умовна токсичність органічних в'язучих матеріалів,  
що використовуються на ливарних підприємствах [15]

Вид органічних в'язучих матеріалів	Марка органічних в'язучих матеріалів	Умовна токсичність на один відсоток в'язучого матеріалу в суміші на етапах технології литва:		
		приготування суміші	структурування – сушка ливарних форм або стрижнів	залівка рідкого металу у ливарну форму
Технічні лігносульфонати (ЛСТ)	ЛСТ марки А: при $T = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$	–	0,8	53,1
	ЛСТ марки А: при $T = 240\text{ }^{\circ}\text{C}$	–	8,5	–
Масляні	КО	–	78,6	223,2
	УСК	–	72,9	208,0
	СКТ-11	–	18,5	102,7
Фенолоформальдегідні	СФ-480	1,95	218,2	516,7
	Фенолоспирт	1,4	70,0	494,1
	СФ-015	–	235,8	947,0
	СФ-262	–	82,6	1404,0
Карбамідоформальдегідні	КФ-МТ	–	111,0	758,8
	суміш КФ-МТ та 20%-й розчин сечовини та фенолоспирту (1: 1,5)	–	23,9	380,6
	суміш КФ-МТ та фенолоспирту	–	118,4	354,3
Фенолокарбамідоформальдегідні	ТОЛ	0,44	161,4	1457,4
	ФМЛ	0,45	146,7	1402,0
Карбамідо-фуранові	КФ-90	0,42	87,8	570,0
	Фуритол-107	0,416	91,5	765,2

веде до серйозних екологічних проблем в Україні, оскільки використання фенольних смол та масляних матеріалів несе потенційні загрози працівникам та довкіллю. Такий стан речей знижує потенціал підприємства, оскільки призводить до додаткових витрат, в той же час використання екологічно чистих в'язучих дозволить кардинально змінити ситуацію, оскільки при цьому з виробництва видаляється джерело витоку та генерування цих шкідливих викидів.

Таблиця 2

**Відображення показників токсичності органічних в'язучих матеріалів у фахових джерелах інформації**

Рік видання	Джерело інформації
1987	Литейные связующие в массовом производстве. Каталог / В. Л. Суворов, Р. И. Оглоблина, Е. С. Короваева и др. – Свердловск.: ВНИИ ОТ ВЦСПС, 1987. – 36 с. [15]
2001	Экология литейного производства / под ред. А. Н. Болдина, С. С. Жуковского, А. Н. Поддубного, А. И. Яковлева, В. Л. Крохотина: Учеб. пособие для вузов. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2001. – 315 с. [9]
2010	Инженерная экология литейного производства. Учебное пособие /А. Н. Болдин, А. И. Яковлев, С. Д. Тепляков; под общ. ред. А. Н. Болдина. – М.: Машиностроение, 2010. – 352 с. [10]

Очевидно, в умовах складного за практичною реалізацією ливарного виробництва виявляється несприятливий кумулятивний ефект комплексного чинника, при якому шкідлива дія кожного окремого компонента (пилу, газів, температури, вібрації, шуму) різко збільшується, тому ліквідація джерел забруднень покращить такий стан.

Неофіційна статистика по м. Луганську свідчить, що 67 % хронічних захворювань і 89 % онкозахворювань припадає на жителів безпосередньо прилеглих районів, де згруповані ливарні потужності і застосовуються екологічно небезпечні матеріали.

Приведені факти зумовляють гостру необхідність розробки і застосування в'язучих матеріалів нового покоління, що відрізняються, насамперед, екологічністю. Потреба в таких матеріалах актуальна саме тепер, оскільки відкриваються можливості нарощування виробництва литва (розміщення замовлень з Німеччини і Франції на підприємствах України), що в умовах загальносвітової економічної кризи дасть додаткові робочі місця, підвищить ефективність економіки України, призведе до зростання потенціалу ливарних виробництв. Інакше ці замовлення будуть успішно розміщені в Туреччині або Китаї. Тому невід'ємним елементом успіху у вирішенні вказаної проблеми є розробка і застосування нових екологічно чистих і якісних ливарних способів їх обробки ЛСТ для збільшення їх показників міцності.

З огляду на вищезазначене, доцільно розглянути з точки зору екології представлену розробку, показники газотворності і токсичності запропонованих сумішей. Робота здійснювалася в токсикологічній лабораторії Інституту промислової екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Для експериментів приймалися модельні склади стрижньових сумішей для виробництва чавунного фасонного литва.

Вони моделювали ситуацію сушки стрижнів при 300 °С і заливки розплавленого металу при 1000 °С. Результати проведених досліджень представлено в табл. 3.

Пропоновані склади сумішей (склади 4–6) містять мінімальну кількість КО, яке необхідне для забезпечення її технологічності.

Результати показують, що використання запропонованого складу суміші з пониженим вмістом в'язучих матеріалів, а головне, скороченням застосування головного джерела викидів токсинів – в'язучого КО, призвело до істотного зниження об'ємів валових викидів.

Викиди за всіма показниками скоротилися до рівнів гранично допустимих концентрацій (ГДК) (табл. 4).

Зафіксовано зниження шкідливих викидів по всіх контрольованих компонентах: формальдегіду, акролеїну, окислу вуглецю, сірчистому ангідриду, але головне – бензапирен, викид якого перевищував ГДК робочої зони в 4,5 рази, скоротився до рівня ГДК.

Екологічна ефективність була оцінена по скороченню валового викиду кожного з компонентів та приведена в табл. 5.



**Склади ливарних сумішей, що досліджувалися, та їх характеристики міцності**

Номер складу суміші	Перелік складу компонентів суміші	Кількісний склад сумішей					
		1	2	3	4	5	6
1	Пісок кварцовий 1К02Б, %	100	100	100	100	100	100
2	ЛСТ, %	6	–	4,5	–	–	–
3	ЛСТ– НПАР, %	–	6	–	4,5	4,0	5,0
4	КО, %	–	–	3,5	0,8	0,8	0,8
5	Міцність при розриві, МПа	0,4	2,9	1,9	2,1	1,9	2,7

Таким чином, в результаті проведеного аналізу встановили, що в'язучі матеріали є визначальним елементом у багатьох технологічних процесах лиття.

Вони мають вирішальне значення у формуванні якості литва, багато в чому визначають його собівартість, технологічні можливості тих або інших ливарних процесів.

Будучи складними по хімічному складу комплексами, що включають потенційно небезпечні речовини, в'язучі матеріали в ливарному виробництві зумовлюють не тільки санітарно-гігієнічні умови праці в ливарних цехах, але і відповідають за якісні характеристики екологічного стану всього виробництва. Саме вони є головним джерелом викидів в атмосферу високотоксичних речовин першого і другого класів небезпеки (бензапірен, формальдегід, акролеїн і т. д.).

Все це в сукупності зумовлює актуальність проблеми пошуку альтернативних рішень – в'язучих матеріалів, які б, забезпечуючи технічно необхідний рівень вимог у даній технології лиття, відповідали вимогам екологічної безпеки, та були б прийнятними за економічними показниками – недорогими, з відсутністю об'єктивних тенденцій до здорожчання.

Такою альтернативою могли б стати лігносульфонатні матеріали: екологічні, недорогі і, що істотно, не схильні до здорожчання, оскільки первинним джерелом їх виробництва служать продукти переробки рослинної сировини – природного поновлюваного ресурсу. На сучасному ринку в'язучих цей клас матеріалів представлено технічними лігносульфонатами (ТУ 13-0281036-029-04), проте їх застосування як ливарного в'язучого в стримується незадовільністю показників якості (низька здатність, що в'яже, нестабільність властивостей, висока гігроскопічність стрижнів і форм виготовлених на основі ЛСТ) щодо технічних вимог багатьох технологій ливарного виробництва.

Суперечність між комплексом перерахованих позитивних характеристик і властивостей ЛСТ, з одного боку, і незадовільність деяких технологічних показників, насамперед характеристик міцності, з іншого – визначає головну проблему їх поширення на підприємствах лиття.

Доцільно пильніше розглянути ЛСТ як об'єкт технології та чинник підвищення потенціалу підприємств ливарної галузі.

Встановлено, що на основі створених ливарних в'язучих матеріалів розроблено склади стрижневих сумішей, що дозволяють знизити об'єм токсичних газових викидів порівняно з сумішами на основі відомих і широко вживаних в'язучих матеріалів типу КО і УСК в 2,7–14 разів, що дозволило звести вміст шкідливих речовин у газових викидах до рівня ГДК.

Це стало можливим за рахунок використання у складі суміші екологічно чистих в'язучих матеріалів на основі ЛСТ з підвищеними показниками міцності.

**Таблиця 4**  
**Характеристики газотворення та токсичності сумішей на основі застосування композицій ЛСТ – НІАР**

Показники токсичності модельних складів сумішей для виробництва фасонного чавунного литва	Номер складу суміші відповідно до таблиці 3						
	1	2	3	4	5	6	
Питома газотворність суміші, см <sup>3</sup> /г %, що контролювалася при 300 та 1000 °С	300 °С	1,29	1,81	1,19	1,00	1,22	
	1000 °С	2,43	2,41	4,25	2,08	1,90	
токсикологічні характеристики досліджених складів в'язучих композицій (токсичність), мг/м <sup>3</sup>							
Токсини	умови ви- судування	1	2	3	4	5	6
Формальдегід (клас небезпеки – 2, ГДК <sub>рз</sub> – 0,5 мг/м <sup>3</sup> ), СН <sub>2</sub> = О	300 °С	0,190	0,193	0,819	0,304	0,281	0,311
	1000 °С	–	–	–	–	–	–
Акролейн (клас небезпеки – 2, ГДК <sub>рз</sub> – 0,2 мг/м <sup>3</sup> ), СН <sub>2</sub> = СНСНО	300 °С	0,07	0,09	0,69	0,14	0,11	0,17
	1000 °С	–	–	–	–	–	–
Окис углецю (клас небезпеки – 3, ГДК <sub>рз</sub> – 20 мг/м <sup>3</sup> ), СО	300 °С	1,10	1,29	23,86	11,25	10,29	11,22
	1000 °С	6,45	6,67	48,01	16,82	13,13	17,00
Сірчистий ангідрид (клас небезпеки – 3, ГДК <sub>рз</sub> – 10 мг/м <sup>3</sup> ), SO <sub>2</sub>	300 °С	–	–	–	–	–	–
	1000 °С	3,2	3,2	22,7	6,3	6,0	6,2
Бензапірен* (клас небезпеки – 1, канцероген, ГДК <sub>рз</sub> – 0,00015 мг/м <sup>3</sup> ), С <sub>20</sub> Н <sub>12</sub>	300 °С	(не зафік- совано)	(не зафік- совано)	0,00067 (перевищення ГДК в 4,5 рази)	0,00007	0,00007	0,00007

Примітка: \* як правило, в робочій зоні ливарних цехів, що використовують у своїх технологічних процесах в'язучий КО, спостерігається 10–15-крат-не перевищення ГДК, що пояснюється ефектом накопичення і більшою генерацією бензапірену внаслідок не тільки процесів сушки стрижнів або форм, але і операцій заливки розплаву рідкого металу і вибивки виливків з форм, що не враховувалося в даному експерименті

**Екологічна ефективність що досягається за рахунок зменшення використання в'язучого КО, що є джерелом токсичних газовиділень при сушці стрижнів**

Токсини	Базовий варіант складу суміші (ЛСТ – 4,5, до 4,0 %)	Пропонований варіант складу суміші (ЛСТ – 4,0, до 0,8 %)	Ефективність, зниження викидів, рази
Формальдегід (клас небезпеки – 2, ГДК <sub>рз</sub> – 0,5 мг/м <sup>3</sup> ), CH <sub>2</sub> = O, мг/м <sup>3</sup>	0,83 – перевищення ГДК в 1,66 рази	0,31	2,7
Акролеїн (клас небезпеки – 2, ГДК <sub>рз</sub> – 0,2 мг/м <sup>3</sup> ), CH <sub>2</sub> = CHCHO, мг/м <sup>3</sup>	0,77 – перевищення ГДК у 3,85 рази	0,14	5,5
Оксид вуглецю (клас небезпеки – 3, ГДК <sub>рз</sub> – 20 мг/м <sup>3</sup> ), CO, мг/м <sup>3</sup>	30,21 – перевищення ГДК в 1,51 рази	10,49	2,9
Бензапірен (клас небезпеки – 1, канцероген, ГДК <sub>рз</sub> – 0,00015 мг/м <sup>3</sup> ), C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> , мг/м <sup>3</sup>	0,00098 – перевищення ГДК у 6,53 рази	0,00007	14

### Список літератури

1. Шинский О.И. Экология, техника и экономика литейного производства Украины // Инвестиционный бюллетень 3-го и Международного промышленного инвестиционного форума, Запорожье: изд. Торгово-промышленная палата. 2012. – С. 34–36.
2. Шинский И. О., Шинский О. И. Технология, экономика и экология литейного производства Украины. URL: [http://www.lgm.com.ua/press\\_publications.aspx](http://www.lgm.com.ua/press_publications.aspx).
3. Формовочные процессы / Б. Б. Гуляев, О. А. Корнюшкин, А. В. Кузин. – Л.: Машиностроение, Ленингр. дтд-ние, 1987. – 264 с.
4. Берг П. П. Формовочные материалы. – М.: Машгиз, 1963. – 408 с.
5. Берг П.П. Формовочные материалы и смеси. – М.: Машиностроение, 1944. – 156 с.
6. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
7. Формовочные материалы и смеси / С. П. Дорошенко, В. П. Авдокушин, К. Русин, И. Мацишера. – К.: Выща шк., 1990; Прага: СНТЛ, 1990. – 415 с.
8. Жуковский С. С. Прочность литейной формы. – М.: Машиностроение, 1989. – 288 с.
9. Экология литейного производства / под ред. А. Н. Болдина, С. С. Жуковского, А. Н. Поддубного, А.И. Яковлева, В.Л. Крохотина: Учеб. пособие для вузов. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2001. – 315 с.
10. Инженерная экология литейного производства. Учебное пособие / А. Н. Болдин, А. И. Яковлев, С. Д. Тепляков; под общ. ред. А. Н. Болдина. – М.: Машиностроение, 2010. – 352 с.
11. Формовочные материалы и технология литейной формы: Справочник / С. С. Жуковский, Г. А. Анисович, Н. И. Давыдов и др.; под общ. ред. С. С. Жуковского. – М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.
12. Семик А. П. Формовочные и стержневые смеси со связующими материалами на основе технических лигносульфонатов: дис. ... д-ра техн. наук. – Киев, 1987. – 225 с.
13. Евстифеев Е. Н. Разработка малотоксичных связующих материалов и ресурсосберегающих смесей на их основе для совершенствования технологий изготовления литейных стержней и форм при производстве отливок: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Ростов-на Дону, 2007. – 20 с.
14. Платонов Б.Н., Шапошников Ю.К., Маслеева О.В., Степанова М.Н. Предупреждение канцерогенных ситуаций в литейном производстве // Литейное производство. – 1989. – № 2. – С. 26–27.

15. Литейные связующие в массовом производстве. Каталог / Б. Л. Суворов, Р. И. Оглоблина, Е. С. Коравоев и др. – Свердловск.: ВНИИОТ ВЦСПС, 1987. – 36 с.
16. Связующие для производства древесно-стружечных плит. URL: [http://ap50-mebel.at.ua/publ/materialy\\_v\\_mebelnom\\_proizvodstve/chto\\_takoe\\_dsp\\_dvp\\_mdf\\_shpon/4-1-0-3](http://ap50-mebel.at.ua/publ/materialy_v_mebelnom_proizvodstve/chto_takoe_dsp_dvp_mdf_shpon/4-1-0-3).
17. Свинороев Ю. А. Новый связующий материал на основе технических лигносульфонатов для технологии изготовления угольных брикетов // Материалы VI международной научно-практической конференции «Проблемы горного дела и экологии горного производства» 13–14 мая 2011 г., Антрацит. – Донецк: Донбасс, 2011. – С. 174–180.
18. Строительные вяжущие материалы. URL: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-32/22.htm>.
19. Древесно-полимерные композиты: связующие материалы, армирующие элементы. Проблемы и перспективы. URL: <http://www.dpk-deck.ru/page/sostoyanie-proizvodstva.html>.
20. Эльберт К.И. Использование лигносульфонатов в производстве древесно-стружечных плит // Тезисы доклада 7-й всесоюзной конференции по химии и использованию лигнина. – Рига: Ин-т хим. древесины латвийской ССРС, 1987. – С. 25–26.
21. Агеев А. Я., Мальцев Г. И. Исследование влияния лигносульфонатов на физико-механические показатели асбесто-картона // Тезисы доклада 7-й всесоюзной конференции по химии и использованию лигнина. – Рига: Ин-т хим. древесины латвийской ССРС, 1987. – С. 28–29.
22. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия. Справочник / Болдин А.Н., Давыдов Н.И., Жуковский С.С. и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 507с.
23. Берг П. П. Основы учения о формовочных материалах. – М.: Машиностроение, 1948. – 340 с.
24. Михайлов А. М., Бауман Б. В., Благов Б. Н. и др. Литейное производство: учебник для металлургических специальностей вузов. 2-е изд., перераб и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 256 с.
25. Аксенов П. Н. Технология литейного производства. – М.: ГНТИ Машиностроительной литературы, 1957. – 664 с.

Одержано 23.01.2019

## References

1. Shinsky, O. I. (2012) Ecology, technique and economy of foundry production in Ukraine. Investment newsletter the 3rd International investment and industrial forum, Kiev: Izd. The chamber of Commerce, pp. 34–36 [in Russian].
2. Shinsky I. O., Shinsky O. Technology, economy and ecology of foundry production of Ukraine. URL: [www.lgm.com.ua/press\\_publications.aspx](http://www.lgm.com.ua/press_publications.aspx) [in Russian].
3. Gulyaev, B. B., Gornushkin, O. A., Kuzin, A. V. (1987) Molding processes. L.: Mashinostroenie, 264 p. [in Russian].
4. Berg, P. P. (1963) Molding materials. Moscow: Mashgiz, 408 p. [in Russian].
5. Berg, P. P. (1944) Molding materials and mixtures. Moscow: Mashinostroenie, 156 p. [in Russian].
6. URL: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua) (State statistics service of Ukraine).
7. Doroshenko, S. P., Avdokushin, V. P., Rusin, K., Matishak, I. (1990) Molding materials and mixtures. K.: Vyshcha shkola; Prague: SNTL, 415 p. [in Russian].
8. Zhukovsky, S. S. (1989) Strength of the mold. Moscow: Mashinostroenie, 288 p. [in Russian].
9. Boldin, A. N., Zhukovsky, S. S., Poddubny, A. N., Yakovlev, A. I., Krokhotin, V. L. (eds) (2001) Ecology foundry. Proc. the manual for high schools. Bryansk: Publishing house of BSTU, 315 p. [in Russian].
10. Boldin, A. N., Yakovlev, I. A., Teplyakov, S. D. (2010) Engineering ecology of foundry. Textbook. Moscow: Mashinostroenie, 352 s. [in Russian].
11. Zhukovskiy, S. S., Anisovich, G. A., Davydov, N. I. et al. (1993) Molding materials and technology mold: Handbook. Moscow: Mashinostroenie, 432 p. [in Russian].
12. Semik, A. P. (1987) Molding and core mixture with the binder materials on the basis of technical lignosulfonates. Dissertation of doctor of technical sciences. Kiev, 225 p. [in Russian].
13. Evstifeev, E. N. (2007) The development of low-toxic binding materials and energy-saving mixes on their basis for the improvement of manufacturing techniques of foundry cores and molds for castings: avtoref. dys. ... doct. tech. nauk: Rostov-on-don, 20 p. [in Russian].
14. Platonov, B. N., Shaposhnikov, Yu. K., Masleeva, O. V., Stepanova, M. N. (1989) Prevention of carcinogenic situations in foundry. Foundry, no. 2, p. 26–27 [in Russian].

15. *Suvorov, B. L., Ogloblina, R. I., Karavaev, E. S. et al.* (1987) Casting binders in mass production. Sverdlovsk.: VNIOT ALL, 36 p. [in Russian].
16. Binders for manufacturing wood chipboards. URL: [ap50-mebel.at.ua/publ/materialy\\_v\\_mebel-nom\\_proizvodstve/chto\\_takoe\\_dsp\\_dvp\\_mdf\\_shpon/4-1-0-3](http://ap50-mebel.at.ua/publ/materialy_v_mebel-nom_proizvodstve/chto_takoe_dsp_dvp_mdf_shpon/4-1-0-3).
17. *Svinarov, Y. A.* (2011) New binding material based on technical lignosulfonates for manufacture of coal briquettes. Proceedings of the VI international scientific and practical conference «Problems of mining and mining ecology» 13–14 may 2011, Anthracite. Donetsk: Donbass, p. 174–180 [in Russian].
18. Building binders. URL: [www.bibliotekar.ru/spravochnik-32/22.htm](http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-32/22.htm).
19. Wood-polymer composites: bonding materials, reinforcing elements. Problems and prospects. URL: [www.dpk-deck.ru/page/sostoyanie-proizvodstva.html](http://www.dpk-deck.ru/page/sostoyanie-proizvodstva.html).
20. *Elbert, K. I.* (1987) The use of lignosulfonates in the production of chipboards. Theses of the report of the 7th all-Union conference on chemistry and use of lignin. Riga: I-t chem of wood of the Latvian USSR, pp. 25–26 [in Russian].
21. *Ageev, A. I., Maltsev, G. I.* (1987) Investigation of the effect of lignosulfonate on the physical and mechanical properties of asbestos cardboard. Theses of the report of the 7th all-Union conference on chemistry and use of lignin. Riga: I-t chem of wood of the Latvian USSR, pp. 28–29 [in Russian].
22. *Boldin, A. N., Davydov, N. I., Zhukovsky, S. S. et al.* (2006) Casting molding materials. Molding, core mixtures and coatings. Handbook. Moscow: Mashinostroenie, 507 p. [in Russian].
23. *Berg, P. P.* (1948) Fundamentals of the doctrine of molding materials. Moscow: Mashinostroenie, 340 p. [in Russian].
24. *Mikhailov, M. A., Bauman, B. V., Blagov, B. N. et al.* (1987) Foundry: textbook for metallurgical specialties of universities. 2nd ed., pererab and dop. Moscow: Mashinostroenie, 256 p. [in Russian].
25. *Aksenov, P. N.* (1957) Technology of foundry production. Moscow: GNTI Engineering literature, 664 p. [in Russian].

Received 23.01.2019

**Ю. О. Свинороев**, канд. техн. наук, доцент, e-mail: [desna.us@yandex.ru](mailto:desna.us@yandex.ru)

Камянский технологический институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М. И. Платова, Камянск-Шахтинский, Россия

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛИТЕЙНОЙ ОТРАСЛИ

Традиционно основной заготовительной базой машиностроительной отрасли является литейное производство. На долю его продукции в структуре ее потребностей приходится от 40 до 60 %, при этом доля литья, получаемого в песчаных разовых формах, составляет около 80 %. Такое положение подчеркивает важность и значимость обеспечения соответствующего качества литейной формы и соблюдения, в этих условиях, экологической безопасности в литейном производстве в целом. В результате проведенного исследования установили, что связующие материалы являются определяющей составляющей в процессах литья. Эта составляющая обуславливает не только технологические возможности процесса производства, но и комплекс вопросов, возникающих на разных этапах его осуществления: себестоимость процесса, санитарно-гигиенические условия труда персонала литейного цеха, экологическое состояние в местности, где расположено предприятие. Именно связующие соединения являются главными источниками выбросов в атмосферу высокотоксичных веществ первого и второго классов опасности (бензапирен, формальдегид, акролеин и т. д.). Альтернативой доминированию синтетических смол, в современных условиях развития литейного производства, могли бы стать лигносульфонатные материалы: экологические, недорогие и, что существенно, не склонные к удорожанию, поскольку первичным источником их производства служат продукты переработки растительного сырья – природного возобновляемого ресурса. На современном рынке связующих этот класс материалов представлен техническими лигносульфонатами (ЛСТ) (ТУ 13-0281036-029-04), однако их применение как литейного связующего сдерживается неудовлетворительностью показателя качества (низкая связующая способность, нестабильность свойств, высокая гигроскопичность стержней и форм, изготовленных на основе ЛСТ) относительно технических требований многих технологий литейного производства. На основе созданных литейных связующих материалов разработаны составы стержневых смесей, позволяющие снизить объем токсичных газовых выбросов по

сравнению со смесями на основе известных и широко применяемых связующих материалов типа КО и УСК в 2,7–14 раз, что позволило понизить содержание вредных веществ в газовых выбросах до уровня предельно допустимых концентраций (ПДК). Это стало возможным за счет использования в составе смеси экологически чистых связующих материалов на основе ЛСТ с повышенными показателями прочности.

**Ключевые слова:** литейная область, инновационные технологии, связующие материалы, растительное сырье, связующая способность, экологическая безопасность, экологическая эффективность.

**Yu. A. SVINOROEV**, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor,  
e-mail: [desna.us@yandex.ru](mailto:desna.us@yandex.ru)

Kamensky Technological Institute (branch) of South Russian State Polytechnic University named after M. I. Platova, Kamyansk-Shakhtinskiy, Rossiya

### **INNOVATIVE TECHNOLOGY BASED ON THE USE OF NEW ENVIRONMENTALLY FRIENDLY BINDING MATERIALS FOR THE FOUNDRY INDUSTRY**

*Traditionally the main procurement basis of machine building industry is the foundry. The share of its products in the structure of its needs accounts for 40 to 60 %, while the share of castings produced in sand single forms is about 80 %. This situation determines the importance and significance of ensuring the appropriate quality of the mold and compliance, according to these conditions, environmental safety in the foundry as a whole. As a result of the study it is found that the binding materials is the determining component in the casting process. This component determines not only the technological capabilities of the production process, but also a set of issues arising at different stages of its implementation: the cost of the process, sanitary conditions of work of the personnel of the foundry, ecological state in the area where the enterprise is located. The binding compounds are the main sources of emissions into the atmosphere of highly toxic substances of the first and second classes of danger (benzapyrene, formaldehyde, acrolein and so on). An alternative to the dominance of synthetic resins, in modern conditions of the development of foundry production, there are lignosulfonate materials (LST): environmentally friendly, not expensive and, significantly, are not prone to rise in price, since the primary source of their production are the products of processing of plant raw materials – a natural renewable resource. In today's market of binders, this class of materials is represented by technical lignosulfonates, but their use as a casting binder is not constrained satisfactory quality indicators (low binding capacity, instability of properties, high hygroscopicity of cores and molds made on the basis of LST), with respect to the technical requirements of many technologies of foundry production. On the basis of the created casting binders compositions of core mixtures have been developed to reduce the volume of toxic gas emissions in comparison with mixtures based on known and widely used binders such as КО and УСК in 2,7–14 times, which allowed to introduce the content of harmful substances in gas emissions to the level of maximum allowed concentration. This was made possible by the use of a mixture of environmentally friendly binder materials based on LST with increased strength.*

**Keywords:** foundry industry, innovative technologies, binding materials, vegetable raw materials, binding ability, environmental safety, environmental efficiency.