

# ОТХОДЫ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДОНБАССА – ЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДОРОЖНЫХ ДЕГТЕБЕТОННЫХ И АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

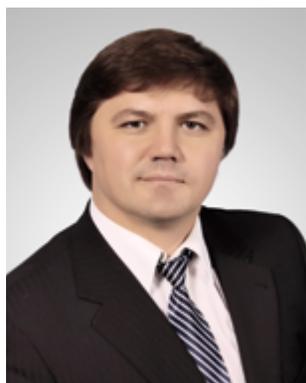
В. И. Братчун, д.т.н., профессор; М. К. Пактер, к.т.н., доцент;  
В. Л. Беспалов, д.т.н., профессор; В. В. Жеванов, к.т.н., доцент; А. И. Сазанов  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка



*Братчун  
Валерий Иванович*



*Пактер  
Михаил Константинович*



*Беспалов  
Виталий Леонидович*



*Жеванов  
Вячеслав Владимирович*



*Сазанов  
Александр Иванович*

*Аннотация.* Описан опыт изучения и использования отходов промышленности Донбасса, а именно: первичных отходов производства поливинилхлорида Донецкого химзавода (отсев, фильтрационный кек, пыль, корка) и полистирола Горловского объединения «Азот» (полистирольная пыль), кубовых остатков дистилляции фталевого ангидрида Авдеевского коксохимического завода как модификаторов состава и структуры органических вяжущих коксохимического производства; вязкопластичных продуктов сливных отвалов и кислых смолков сульфатного отделения как органических вяжущих дегтебетонных смесей для устройства нижних слоев нежестких дорожных одежд; шламов нейтрализации травильных растворов Харцызского сталепроволочно-канатного завода и депонированных осадков сточных вод для производства минеральных порошков как компонента дегтебетонных и асфальтобетонных смесей; полимерсодержащих отходов производства эпоксидных смол Горловского химического завода и кубовых остатков ректификации стирола Горловского объединения «Азот» в качестве активаторов поверхности минеральных порошков дегтебетонных и асфальтобетонных смесей.

*Ключевые слова:* органические, полимерные и минеральные отходы промышленности Донбасса – компоненты и модификаторы структуры дорожных дегтебетонных и асфальтобетонных смесей.

## ВВЕДЕНИЕ

Кафедра автомобильных дорог и аэродромов является правопреемницей кафедр «Строительные материалы, основания и фундаменты» (1955 г.); «Строительные материалы и производство строительных конструкций» (1973 г.); «Технологии строительных материалов, изделий и автомобильных дорог» (1993 г.); «Автомобильные дороги и аэродромы» (2012 г.). В настоящее время на кафедре приоритетными научными направлениями являются: «Изучение состава, структуры и свойств техногенных продуктов с целью использования их для производства композиционных материалов, характеризующихся пониженной ресурсо- и энергоемкостью, и нормативной долговечностью» (научный руководитель – д.т.н., профессор Братчун В. И.); «Теоретико-экспериментальные

принципы получения модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности» (научный руководитель – д.т.н., профессор Беспалов В. Л.). По данному научному направлению защищены докторская диссертационная работа и пять кандидатских диссертационных работ.

«Мониторинг технико-эксплуатационного состояния искусственных сооружений на автомобильных дорогах и разработка проектных решений по их ремонту, усилению и реконструкции» (защитены две кандидатские диссертации).

С 1961 по 1990 годы заведующим кафедры был профессор Почапский Н. Ф., офицер, ветеран Великой Отечественной войны, орденносец, профессор, заслуженный работник Высшей школы Украины, который в 1958 году защитил в Харьковском автомобильно-дорожном институте кандидатскую диссертацию, посвященную оптимизации макроструктуры дорожного асфальтобетона под руководством выдающегося ученого-дорожника и организатора подготовки специалистов высшей квалификации для дорожного строительства, профессора, заслуженного работника Украины, заведующего кафедрой «Технологии дорожно-строительных материалов» (1933-1974 годы) Харьковского автомобильно-дорожного института Волкова Михаила Ивановича, который подготовил 45 кандидатов наук и 3 докторов технических наук. Последним аспирантом профессора Волкова М. И. был в настоящее время заведующий кафедрой «Автомобильные дороги и аэродромы» д.т.н., профессор Братчун В. И. Николай Федотович Почапский использовал опыт профессора Волкова М. И. и, начиная с 1961 года, активно разрабатывал научное направление «Исследование отходов и попутных продуктов промышленности как сырья для производства строительных материалов и изделий». В Украине в восьмидесятые-двухтысячные годы XX столетия ежегодный выход отходов промышленности составлял один млрд. тонн, 10-15 % использовались как вторичные материальные ресурсы, а остальные поступали в хранилища-могильники, шламонакопители, терриконы. Отходы занимают в Донбассе около 100 тысяч гектаров, а общий их объем достиг 25 млрд. тонн. Инфильтрации могильников, горение терриконов (их на территории Донецкого бассейна 1260), (рис.1).



Рис. 1. Общий вид террикона горелой шахтной породы

Ежегодный объем горелой массы, транспортируемой в терриконы-отвалы составляет около 30 млн. м<sup>3</sup>, а их общий объем в Донбассе превышает 2 млрд. м<sup>3</sup> [1].

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В Донецкой области в 60-90 годах функционировало 125 асфальтобетонных заводов в составе государственных предприятий «Донецкий облавтодор», Донецкий трест по строительству, ремонту и эксплуатации внутригородских дорог, трест «Донбассдорстрой», Артемовское управление по строительству и эксплуатации технологических дорог канала «Северский Донец-Донбасс», а также десятки ведомственных дорожно-строительных организаций по эксплуатации внутризаводских автомобильных дорог, например, Макеевского металлургического комбината, Ясиновского коксохимического завода, Харцызского сталепрокатного комбината и других крупных производственных предприятий.

Ежегодная потребность в органических вяжущих составляла 100 тысяч тонн. Централизованные поставки нефтяного дорожного битума составляли 30 тысяч тонн и 30 тысяч тонн нефтяного гудрона, который необходимо было термоокислить в несовершенных компрессорных установках. Данный технологический процесс характеризовался высокой энергоемкостью и выходом готового продукта – нефтяного дорожного битума – 85-90 %.

Остальные 40 тысяч тонн – местные материалы. Таким местным материалом являлись каменноугольные дорожные дегти ГОСТ 4648-74(80) и каменноугольные смолы ГОСТ 16557-78, сырьевая база для производства которых в несколько раз превышает объем сырья для производства нефтяных дорожных битумов. Однако, дегтебетонные покрытия не долговечны. Это обусловлено недостаточной плотностью покрытия из-за узкого температурного интервала уплотнения дегтебетонных смесей; неудовлетворительной деформативностью и сдвигоустойчивостью; низкой морозо- и водостойкостью; склонностью к интенсивному старению.

Первые аспиранты профессора Почапского Н. Ф. - Л. И. Базжин и В. И. Гончаренко, в своих диссертационных исследованиях (1966-1976 годы) в составе дорожных асфальтобетонов использовали в качестве минеральных порошков побочные отходы промышленности Донбасса: пыль – уноса цементных печей Амвросиевского цементного комбината, шламы водомягчения станции Красноармейск, доломитовую пыль Никитовского комбината, колошниковую пыль Макеевского металлургического комбината. Результаты исследований внедрены при производстве асфальтобетонных смесей ДСУ №31 треста «Донбассдорстрой».

Следующий этап с 1974 года широкого изучения отходов промышленности как компонентов дегтебетонных и асфальтобетонных смесей выполнен большой группой аспирантов под руководством д.т.н., профессора Братчуна В. И.: изучены первичные отходы производства поливинилхлорида Донецкого химзавода, Первомайского химкомбината, Днепродзержинского объединения «Азот» (фильтрационный

кек, отсев, пыль, корка), кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида Авдеевского коксохимического завода; первичные отходы производства полистирола Горловского объединения «Стирол» – модификаторы состава и структуры каменноугольных смол и каменноугольных дорожных дегтей; вязкопластические продукты сливных отвалов коксохимических заводов



Рис. 2. Сливной отвал Макиевского и Ясиновского КХЗ

(рис. 2), кислая смолка сульфатного отделения коксохимических заводов и сливных отвалов КХЗ Донецкой области; серосодержащие отходы кубовые остатки ректификации стирола Горловского объединения «Стирол»; шламы нейтрализации травильных растворов Харцызского сталепроволочно-канатного завода (рис 3, 4), депонированные осадки сточных вод для производства минерального порошка асфальтобетонных и дегтебетонных смесей; полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол Горловского химического завода для поверхностной активации органоминеральных порошков асфальтобетонных смесей; отсев дробления отвалных мартеновских шлаков металлургических заводов Донецкой и Луганской областей в качестве минеральных компонентов мелкозернистых асфальтошлакобетонных и дегтешлакобетонных смесей (рис. 5); модифицированные комплексной добавкой, состоящей из первичного отхода производства поливинилхлорида – отсева и кубового



Рис. 3. Цех пресс-фильтров обезвоживания шламов нейтрализации Харцызского сталепроволочно-канатного завода

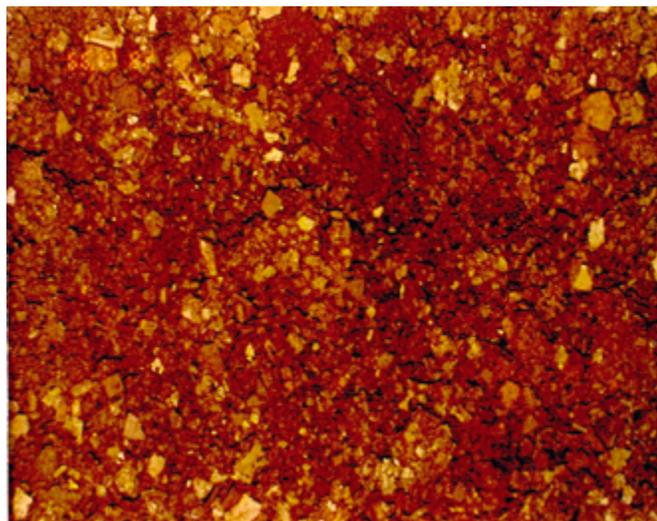


Рис. 4. Общий вид отвала кека в цехе пресс-фильтров Харцызского сталепроволочно-канатного завода

остатка очистки дистилляции фталевого ангидрида, вязкопластичные кубовые остатки фенольно-ацетонового производства Дзержинского фенольного завода; заполнители для мелкозернистых цементных бетонов из каменноугольных и антрацитовых золошлаковых материалов ТЭЦ Донбасса.



Рис. 5. Штабели щебня из отвалного сталеплавильного шлака (Алчевский МК)

По результатам исследований защищены две докторские диссертационные работы: Братчун В. И. «Модифицированные дегти и дегтебетоны повышенной долговечности» (1993 г.); Базжин Л. И. «Научные основы проектирования дорожных асфальтобетонов с использованием техногенного сырья и прогнозирующе-оптимизационных комплексов» (2005 г.), а также 20 кандидатских диссертаций.

На кафедре «Автомобильные дороги и аэродромы» ГОУ ВПО «ДОННАСА» на основе предложенных физико-химических моделей модифицированных дегтевяжущих веществ разработаны эффективные способы регулирования структуры каменноугольных дорожных дегтей и дегтевяжущих веществ коксохимического производства первичными отходами производства поливинилхлорида (отсев, фильтрационный пек, пыль, корка) Донецкого химзавода и полистирольной пылью Горловского объединения «Стирол» со среднечисленной молекулярной массой  $9 \cdot 10^4$ . В качестве активных

дисперсных наполнителей использованы кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида Авдеевского коксохимического завода, древесный гидролизный лигнин (ДГЛ) Бабруйского целлюлозно-бумажного комбината, а также каменные угли разной степени метаморфизма Донбасса – длиннопламенный (Д), коксовый (К), антрацит (А). Удельная поверхность наполнителей 400-450 кг/м<sup>3</sup>. Плотности ОДА, ДГЛ, углей Д, К, А составляла 1527 кг/м<sup>3</sup>, 1450 кг/м<sup>3</sup>, 1153 кг/м<sup>3</sup>, 1190 кг/м<sup>3</sup>, 1415 кг/м<sup>3</sup> соответственно; содержание функциональных групп на их поверхности 3,5 мг-экв/г, 2,9 мг-экв/г, 2,65 мг-экв/г, 0,35 мг-экв/г, 0 мг-экв/г, соответственно.

Активаторы поверхности минеральных порошков: эпоксидная смола ЭД-20 (ГОСТ 10557); полимерные отходы производства эпоксидных смол Горловского химзавода и Донецкого УкрНИКОМП; кубовые остатки ректификации стирола (КОРС) Горловского объединения «Стирол» (ТУ 3810364); смола карбамидо-формальдегидная КФ-МТ (ГОСТ 14231).

В качестве минеральных порошков использовали известняковый, доломитовую пыль, активированную стеарином, шлаковый из отвального мартеновского шлака.

Отсев дробления отвального мартеновского шлака Макеевского карьеруправления с модулем основности 1,9, активностью 1 МПа (отвал «Черная гора»), первичный отход дробления и рассева мартеновского шлака Макеевского металлургического комбината.

Асфальтобетоны и дегтебетоны приняты мелкозернистый (тип В) и песчаный (тип Г).

Определены «критические» концентрации активных дисперсных наполнителей (кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида, древесный гидролизный лигнин), упрочняющие маловязкие дегтеполимерные вяжущие. При этом в области эксплуатационных температур в комплексных каменноугольных вяжущих (ККВ) возникает сопряженная пространственная структура, определяющая свойства комплексных каменноугольных вяжущих. ККВ по показателям качества приближаются к битумам БНД 200/300. Когезия ККВ на порядок выше, чем традиционных органических вяжущих. Они эластичны ( $\varepsilon_0 = 33-43\%$ ) и менее температурочувствительны, чем битумы равной пенетрации [1-3].

Доказано, что эффективным способом повышения адгезии и когезии каменноугольных дорожных дегтей, обеспечивающих эластичность дегтевяжущего вещества и прочную связь на поверхности раздела фаз дегтеполимерное вяжущее – минеральный материал, является активация поверхности минерального порошка олигомерами (кубовые остатки ректификации стирола, карбамидо-формальдегидная смола, полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол). При концентрации олигомеров 0,5-2,0 % мас. на поверхности минерального порошка формируются структурированный слой модификатора, прочно связанный межмолекулярными, водородными и донорно-акцепторными связями с поверхностью порошка. Это усиливает межмолекулярные взаимодействия на поверхности раздела фаз дегтеполимерное вяжущее – минеральный порошок вследствие увеличения количества контактов сегментов пластифицированных

надмолекулярных образований полимера с активными центрами олеофильной поверхности [4-6].

Дегтеполимербетонные смеси с применением дегтеполимерных и комплексных каменноугольных вяжущих отличаются повышенной уплотняемостью при температурах 30-100 °С, а бетоны – повышенным сопротивлением сдвигу и динамическим модулем упругости в области положительных температур. Они характеризуются меньшим показателем температурной чувствительности (0,028-0,03) по сравнению с горячим дегтебетоном (0,07); более широкой зоной линейной вязкоупругости ( $s_{кр} = 0,12-0,38$  МПа против 0,46 МПа для дегтебетона и 0,025 МПа для асфальтобетона). Они более устойчивы к старению, водо- и морозостойкости, чем традиционные дегтебетоны [7,8].

Теоретически обоснованы и разработаны ресурсосберегающие технологии производства модифицированных вяжущих коксохимического производства (рис. 6), а также влажных дегтешлаковых и влажных асфальтошлакобетонных смесей, включающих отсев дробления отвального мартеновского шлака, каменноугольные дорожные дегти (битумополимерные эмульсии), воду и химические добавки.

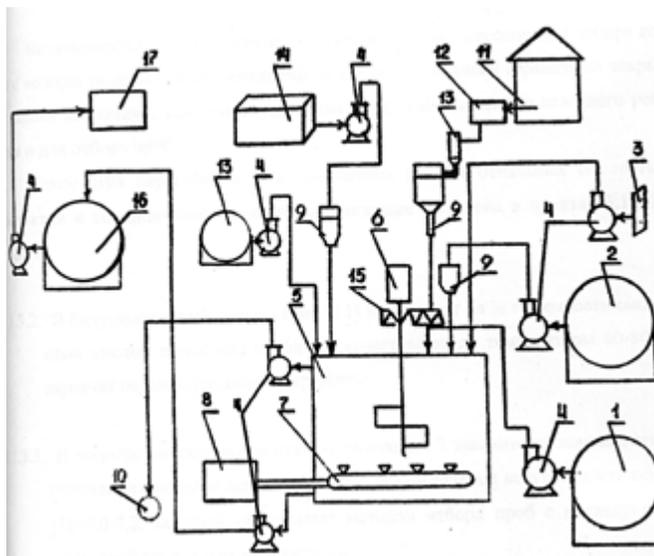


Рис. 6. Принципиальная схема переработки жидких продуктов из сливных отвалов коксохимических предприятий в кондиционное органическое вяжущее

- 1 – емкость кислых отходов; 2 – емкость раствора щелочи (едкий натрий, гидроксид аммония);
- 3 – водопровод; 4 – насос; 5 – битумоварочный котел; 6 – мешалка; 7 – жаровые трубы;
- 8 – компрессор; 9 – дозатор; 10 – канализация;
- 11 – склад полимера; 12 – камерный насос;
- 13 – циклон; 14 – емкость кубовых остатков ректификации стирола; 15 – шнековый питатель;
- 16 – расходный котел кондиционного органического вяжущего; 17 – асфальтосмеситель;
- 18 – емкость для разжижителя (антраценовое масло, маловязкий деготь, каменноугольная смола)

После укладки в покрытие дорожной одежды и уплотнения влажных дегте- и асфальтошлакобетонных смесей формируется структура с оптимальным сочетанием коагуляционных и конденсационных контактов.

Энергоемкость производства влажных дегтешлакобетонных смесей в 6 раз ниже, чем горячих дегтебетонных и асфальтошлакобетонных соответственно [9-11].

Результаты исследований вошли в нормативно-технические документы Минавтодора РСФСР (1980) [12] и Минтранстроя СССР (1987) [13], а также нормативные документы Украины [14] и внедрены в дорожно-строительных организациях Донецкой, Харьковской, Ивано-Франковской и Запорожской областей.

Построены технологические линии по производству дегтеполимерных и комплексных каменноугольных вяжущих (Артемовское управление «Дорспецстрой», трест «Донбассдорстрой», Славянское и Горловское управление по ремонту, строительству и эксплуатации автомобильных дорог, Бердянское районное дорожно-строительное управление и др.) (рис. 7).



Рис. 7. Асфальтосмесительная установка ДС-168637 производительностью 160 т/ч (Кредмаш) по производству асфальтобетонных смесей на органических вяжущих, полученных из сливных отвалов КХЗ, АБЗ Краматорского райавтодора

С 1978 по 2012 годы произведено 500 тыс. тонн комплексно-модифицированных дегтеполимер- и асфальтополимербетонных смесей, которые уложены в верхние слои дорожных одежд автомобильных дорог: Харьков-Ростов-Артемовск, Славянск-Краматорск, Донецк-Днепропетровск, Мариуполь-Запорожье, Киев-Днепропетровск-Донецк и др.

Опыт строительства и эксплуатации дегтеполимербетонных покрытий показал: нормативная плотность бетона достигается при меньшем количестве проходов катка; на покрытии отсутствуют деформации в виде волн, сдвигов, трещин покрытия; они в меньшей степени стареют, например, коэффициент старения через 1,5 года эксплуатации участка дороги Артемовск-Краматорск для дегтеполимербетона составил 1,7, а для дегтебетона 2,4. Экономический эффект от внедрения дегтеполимербетонных смесей составил 15 млн. рублей.

В частности, в 1987-1988 годах в Артемовском управлении «Дорспецстрой» произведено 15,8 тыс. тонн дегтеполимербетонных смесей. Участки автомобильных дорог построены при благоустройстве территории микрорайона «Цветочный» (г. Донецк), при строительстве и реконструкции внутризаводских

дорог Ясиновского коксохимического завода, Макеевской птицефабрики, по улице 50 лет образования СССР в г. Макеевке и др. (рис. 8).



Рис. 8. Участок дорожного покрытия Константиновка-Дзержинск, построенный из влажных шлаковых смесей на кислой смолке сульфатного отделения

На одной тонне смеси сэкономлено 15 кг органического вяжущего, 4,5 кВт·ч электроэнергии, 8,3 кг топлива (в пересчете на жидкое).

Санитарно-химические исследования дегтеполимербетонных и влажных дегтешлаковых смесей показали, что уровень выделения вредных веществ (бензол, толуол, ксилол, нафталин, фенол, стирол) в процессе их производства в несколько раз ниже, чем асфальтобетонных и дегтебетонных смесей. В условиях эксплуатации покрытий из влажных дегтешлаковых смесей уровень выделения бензола и ксилола в два раза ниже, чем асфальтобетонных.

#### Список литературы

1. Братчун В. И. Дорожный дегтеполимербетон. Монография [Текст] / В. И. Братчун, В. А. Золотарев, А. Н. Бачурин. — Киев : Вища школа, 1987. — 107 с.
2. Братчун В. И. Вяжущие материалы в производстве строительных конструкций [Текст] / В. И. Братчун. — Каменноугольные дегти, улучшенные отходами промышленности. Учебное пособие — К. : Вища школа, 1989. — С 9-59.
3. Братчун В. И. Модифицированные дегти и дегтебетоны повышенной долговечности. Монография [Текст] / В. И. Братчун, В. А. Золотарев. — МОН Украины ДонГАСА, Макеевка, 1998. — 226 с.
4. Братчун В. И. Оптимизация состава комплексно-модифицированного дегтевяжущего вещества дегтеполимербетона [Текст] / В. И. Братчун, И. Ф. Рыбалко // Вестник ДОННАСА. 1999. Вып. 99-2 (16). С. 101-104.
5. Братчун В. И. Оптимізація складу багатоконпонентного кам'яновугільного в'язучого з широким інтервалом в'язкопружної поведінки [Текст] / В. І. Братчун, В. В. Гончаренко // Автошляховик України, 2000. №1 С. 41-42.

6. Братчун В. И. Исследование процессов и явлений при формировании структуры асфальтошлакобетона на анионной битумной эмульсии методом ИК-спектроскопии [Текст] / В. И. Братчун, Ю. В. Грицук, М. К. Пактер // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Композиционные материалы для строительства, 2002. 1(32). С. 22-27.
7. Братчун В. И. Об опыте использования и применения техногенного сырья для производства дорожно-строительных материалов [Текст] / В. И. Братчун, С. С. Полищев, В. Л. Беспалов // Международная конференция «Опыт и проблемы современного развития дорожного комплекса Украины на этапе вхождения в Европейское сообщество», г. Харьков, 21-21 ноября 2002. – С. 94-97.
8. Братчун В. И. О целесообразности активации поверхности минерального порошка бетонов на органических вяжущих растворами олигомеров и полимеров [Текст] / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, О. Н. Нарижная, В. П. Демешкин, Э. Л. Радюкова // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры: Сборник научных трудов «Современные строительные материалы. – Макеевка: ГОУ ВПО ДОННАСА, Вып. 2021-1 (147). – С. 5-14.
9. Братчун В. И. Об опыте исследования и внедрения техногенного сырья для производства дорожно-строительных материалов [Текст] / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, В. В. Жеванов // Научно-практический журнал: СТРОИТЕЛЬ ДОНБАССА, Вып. № 4 (13). 2020. – С.10-15.
10. Братчун В. И. О закономерностях формирования структуры и свойств асфальтошлакобетонов, приготовленных на жидких битумах, модифицированных латексом BUTONAL NS [Текст] / В. И. Братчун, В. В. Жеванов, Е. А. Ромасюк // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры: Сборник научных трудов «Современные строительные материалы – Макеевка: ГОУ ВПО ДОННАСА. Вып. 2020-1 (141). – С.53-59.
11. Братчун В. И. Потребительские свойства строительных материалов с использованием отсева дробления отвальных мартеновских шлаков. Монография [Текст] / В. И. Братчун, Н. П. Нагорная – Макеевка : ГОУ ВПО «ДОННАСА», 2018. – 97 с.
12. Рекомендации по улучшению каменноугольных смол и дегтей отходами производства поливинилхлорида [Текст] / В. А. Золотарев, В. И. Братчун. – Минавтодор РСФСР, Введ. 01.01.82 – М. : 1982. – 21 с.
13. Методические рекомендации по приготовлению и применению комплексных органических вяжущих на основе тяжёлых продуктов переработки нефти и угля, ПАВ, полимеров и других высокодисперсных наполнителей [Текст] / В. И. Братчун, Л. М. Гохман, Д. С. Шемонаева, Е. М. Гурарий и др. – Министерство транспортного строительства СССР, Государственный Всесоюзный дорожный институт, СоюздорНИИ. – М. : 1987 – 50 с.
14. ДСТУ БВ.2.7.7 – 135: 2077 «Бітуми дорожні модифіковані полімерами» [Текст] / В. І. Братчун, В. К. Вирожемський, Є. М. Гнатюк та ін. // Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2007, 26 с.