

Визначення пластичності литої асфальтобетонної суміші за значенням крутного моменту

Determination of plasticity of the cast asphalt mixture by torque value

Пиріг Я.І., к.т.н., с.н.с., Оксак С.В., к.т.н., доц., Ільїн Я.В., к.т.н., асист., Місніченко С.О., аспірант (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків)

Pyrig Y.I., Ph.D. in Engineering, S. Researcher, Oksak S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Piiyn I.V., Ph.D. in Engineering, Assistant, Misnichenko S.O., Postgraduate student (Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv)

У статті розглянуто метод визначення пластичності литих асфальтобетонних сумішей, оснований на встановленні значення крутного моменту мішалки під час перемішування суміші за технологічних температур. Представлена конструкцію вітчизняного приладу та методики визначення пластичності. Наведені переваги та недоліки даного методу.

Mastic asphalt concrete, unlike other types of hot asphalt concrete, has a long history and a wide range of applications in both industrial and road construction. The peculiarities of the composition of mastic asphalt mixtures and asphalt concrete are the reason for the use of non-standard quality indicators, which include, in particular, the indicator of technological plasticity. Many different methods have been proposed to determine the technological plasticity of mastic asphalt mixtures, but there is no single generally accepted method. Each country uses certain methods to assess the plasticity (mobility) of mastic asphalt mixtures during their manufacture and placement in pavement layers. The aim of the study is to review the method for determining the plasticity of mastic asphalt mixtures based on the establishment of the value of the mixer torque during mixing of the mixture at technological temperatures. To achieve this goal, a corresponding device was manufactured at the Department of Road Construction Materials of Kharkiv National Automobile and Highway University and the plasticity of mastic mixtures was experimentally determined with an assessment of the sensitivity of this method to the parameters of the mixtures. During the first tests, the advantages and disadvantages of this method and the device were identified. A significant advantage is the ability to conduct the entire test cycle of one mixture at different temperatures without the need to unload/load the mixture into the mold during the test at each temperature. This, in turn, significantly reduces the test time. A certain disadvantage of the method is its subjectivity and relatively low reproducibility of the results. This disadvantage can be corrected by replacing the manual rotation of the shaft with mechanical rotation using a motor with a constant

rotation speed. The experimental verification of this method of determining plasticity was carried out on a mastic asphalt mixture of the LABS-10 type, made with three concentrations of bitumen. It was determined that the experimentally obtained temperature dependences of the torque are described by power functions of the second order and are characterized by determination coefficients not lower than 0.985. During the experimental verification of the manufactured device, its advantages and disadvantages were identified, based on the analysis of which ways to improve the design of the equipment were proposed. It has been established that this method (after making improvements to the design of the device and changes in the test methodology) can be recommended for use in production laboratories of the domestic road industry to design the composition of mastic asphalt mixtures and check their quality.

Ключові слова: літа суміш, пластичність, крутний момент, прилад.

Keywords: mastic asphalt mix, fluidity, torque, device.

Вступ. Литий асфальтобетон, на відміну від інших видів гарячих асфальтобетонів, має давню історію та широку сферу застосування як в промисловому, так і в дорожньому будівництві (для влаштування покриттів автомобільних доріг, мостових переходів, підлогових покриттів різноманітних промислових споруд, гідроізоляції тунелів і резервуарів, та інше) [1, 2].

Завдяки особливостям складу литих асфальтобетонів, до яких відносяться підвищена кількість бітумного в'язучого та наповнювача, даному матеріалу притаманні такі переваги, як знижена пористість і підвищена щільність, завдяки чому забезпечується підвищена водо-, морозо- та зносостійкість, міцність та довговічність. Основними перевагами литої асфальтобетонної суміші є відсутність ущільнення під час укладання на місці проведення робіт, завдяки чому даний матеріал може використовуватися для влаштування покриттів на важкодоступних ділянках (тротуарні зони, зони примикання до цоколів різноманітного огороження, примикання до металоконструкцій та інше), а також на ділянках з нерівною поверхнею основи покриття [1, 2].

Особливості складу литих асфальтобетонних сумішей та асфальтобетонів є причиною використання нестандартних показників якості, до яких, зокрема, відносяться показники пластичності – експлуатаційної та технологічної [3].

Аналіз публікацій

Експлуатаційна пластичність литих асфальтобетонів визначається методом вдавлювання штамп, який дозволяє визначати як безпосередньо глибину вдавлювання штамп за температури 40 °С, так і збільшення глибини вдавлювання штамп після 30 хв дії навантаги. Даний метод було розроблено в 20-ті роки минулого століття. Після певних удосконалень та

модифікацій його було стандартизовано в європейській та американській системах оцінки якості асфальтобетонних сумішей та асфальтобетонів. На даний час цей метод є загальноприйнятим в різних країнах світу.

Для визначення технологічної пластичності литих асфальтобетонних сумішей запропоновано досить багато різноманітних методів, але єдиний загальновизнаний метод відсутній. Кожна країна застосовує ті чи інші методи, які дозволяють оцінити пластичність (рухомість) литих асфальтобетонних сумішей під час їх виготовлення та укладання в шари дорожнього одягу.

Залежно від принципу визначення показника пластичності всі відомі методи розподіляються на три групи: методи, в яких пластичність оцінюється за глибиною занурення випробувального пристрою в суміші; методи, в яких пластичність визначається за діаметром розтікання литої суміші під власною вагою та методи, в яких пластичність визначається за значенням крутного моменту мішалки під час перемішування суміші.

Лабораторні методи перших двох груп беруть початок з 20-х років минулого століття. Суттєвою перевагою цих методів є простота та не висока вартість обладнання, що використовується, відносно малий час проведення випробування, гарна вивченість методів та встановлення залежностей з стандартними показниками, які використовуються для оцінювання властивостей литих сумішей. Загальними недоліками методів є: відносно великий обсяг литої суміші (може сягати 10 кг), потрібної для проведення випробування (виготовлення такої кількості суміші в лабораторних умовах для регулярного контролювання їх якості створює певні труднощі); швидке остигання литої асфальтобетонної суміші (особливо у випадку проведення випробування за надто високих технологічних температур, які сягають 250 – 260 °С), що може позначатися на результатах випробування; налипання суміші на внутрішню поверхню випробувальних пристроїв (особливо у випадку проведення випробування за відносно низьких температур – 160 – 180 °С, або якщо в якості бітумних в'язучих використовуються бітуми, модифіковані полімерними добавками), що знижує відтворюваність отримуваних результатів.

Методи, які основані на принципі визначення крутного моменту лопатей мішалки, що обертається в обсязі литої суміші, є відносно новими. Перший метод визначення пластичності (зручнокладальності) асфальтобетонних сумішей було розроблено в 1978 р. американськими дослідниками J. Marvillet та R. Bougault [4].

Згідно даних, представлених в [5], методи, що використовують даний принцип для оцінювання пластичності литих сумішей, характеризуються найбільш точними і відтворюваними результатами, оскільки в приладах використовується лабораторне обладнання, до складу якого зазвичай входять комп'ютеризовані системи отримання та обробки результатів. За

рахунок чого методи є чутливими до різноманітних особливостей литих асфальтобетонних сумішей: їх гранулометричного складу, реологічного типу та складу бітумних в'язучих, а також різноманітних технологічних факторів (температура приготування, час витримання до укладання в покриття та інша). Однак завдяки недолікам, до яких відноситься складність випробувального обладнання та обмеженість у використанні сумішей з максимальним розміром зерен крупного заповнювача 8 мм, мають обмежене застосування у виробничих лабораторіях.

На даний час є відомими декілька приладів, сконструйованих в різних країнах світу (США [4, 6], Нідерландах [7], Малайзії [8], Німеччині [9, 10]) в основі яких лежить подібний принцип роботи. Особливостями цих приладів є: різна конструкція лопатевих мішалок; різні форми та розміри мішалок та ємностей, в яких знаходиться суміш, конструкція яких сприяє зменшенню сегрегації та алгомерації кам'яних матеріалів під час проведення випробування; різна швидкість обертання суміші (15 об/хв в [6], 25 об/хв в [7], 17 об/хв або інша в [9], 13 об/хв в [10]); одночасна реєстрація температури на поверхні та в обсязі суміші [6]; зміна висоти ємності, в якій розташовується суміш, безпосередньо під час проведення випробування, за рахунок чого є можливим усунення утворення площини зсуву [7]; вдосконалення системи оцінювання крутного моменту [7]; можливість приготування (змішування кам'яних матеріалів з бітумним в'язучим) асфальтобетонної суміші безпосередньо в обертовій ємності [8] з одночасним контролюванням за допомогою вбудованих датчиків крутного моменту, швидкості обертання лопатей, необхідної потужності при змішуванні матеріалів та співставлення отриманих даних з властивостями асфальтобетону (об'ємні властивості, модуль пружності, водостійкість); різні критерії вибору найбільш прийнятої пластичності (зручнукладальності) сумішей, наприклад в [9] оптимальною для укладки в покриття литої суміші вважається температура, за якої опір змішування не перевищує $100 \pm 5 \text{ Н} \cdot \text{см}$.

З усіх відомих методів оцінювання пластичності литих асфальтобетонних сумішей, основаних на принципі визначення крутного моменту лопатей мішалки, найбільш простим є метод, який було запропоновано в 2009 р. [11]. Прилад складався з металевого відра, який наповнювався нагрітою до технологічної температури асфальтобетонною сумішшю вагою 18 кг, та $\frac{3}{4}$ дюймового динамометричного ключа, закріпленого за допомогою подовжувача на осі, стабілізованій подвійною системою підшипників. До осі прикріплювались дві металеві лопаті, нижня з яких розташовувалась під кутом 45° до осі, а верхня була зігнута на відстані 2 дюймів від осі. Перед випробуванням у відро встановлювали вісь з лопатями та наповнювали його сумішшю, після чого розташовували прилад в сушильній шафі з технологічною температурою та витримували

впродовж 4 год. Під час випробування за допомогою динамометричного ключа лопать повертали на повний оберт чотири рази, визначаючи кожний оберт крутний момент, який перетворювали в показник зручності шляхом множення величини середнього крутного моменту на 1000.

На кафедрі технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету було запропоновано використовувати цей простий прилад для оцінювання пластичності вітчизняних литих асфальтобетонних сумішей. На відмінність від приладу, представленого в [11], в конструкцію розробленого на кафедрі приладу були внесені наступні модифікації: вдосконалено конструкцію вузла з лопатями, за рахунок чого забезпечується більш повне перемішування суміші під час випробування; обладнано форму теплоізоляційним кожухом; вдосконалено вузол з підшипниками, що попереджає їх забруднення.

Мета і задача дослідження. Метою роботи є оцінювання можливості і доцільності застосування даного методу для визначення пластичності вітчизняних литих асфальтобетонних сумішей. Для досягнення поставленої мети було виготовлено відповідний прилад та проведено експериментальне визначення пластичності литих сумішей з оцінюванням чутливості даного методу до параметрів сумішей.

Методи та об'єкти дослідження

Конструктивно виготовлений прилад складається з наступних складових (рис. 1): металева циліндрична форма з теплоізоляційним кожухом (1), в якій розміщується лита асфальтобетонна суміш; вал (2), що обертається у вузлі з підшипниками (3) та вузол з лопатями (4), що складається з трьох розташованих одна над одною лопатей – нижня лопать розташована під кутом 45° до горизонтальної поверхні, за рахунок чого здійснюється підняття суміші від дна форми угору; середня лопать розташована вертикально за рахунок чого здійснюється перемішування суміші; верхня лопать розташована під кутом 45° до горизонтальної поверхні, за рахунок чого суміш спрямовується вниз; динамометричний ключ (5), що закріплюється на вузлі та використовується для визначення зусилля під час перемішування литої суміші.

Визначення пластичності за значенням крутного моменту здійснювалось на литій суміші типу ЛАБС-10, виготовленій на гранітних заповнювачах (Шматковський кар'єр Полтавська область, Полтавський р-н, с. Карпівка), вапняковому наповнювачі та дорожньому бітумі марки БНД 35/50 (пенетрація за 25°C – $41 \times 0,1$ мм, температури розм'якшеності та крихкості відповідно $52,2^\circ\text{C}$ та мінус 11°C , індекс пенетрації – мінус 1,11). Для експериментальної перевірки можливості визначення пластичності методом, що розглядається, використовували суміш ЛАБС-10, виготовлену з трьома концентраціями бітуму – 9 %, 10 % та 11 %.

Підготовка до проведення випробування полягає у виготовленні литої асфальтобетонної суміші в кількості 6 кг згідно з ДСТУ Б В.2.7-319 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробування».

Перед випробуванням суміш викладають на піддон та разом з циліндричною формою зі штоком та закріпленим вузлом з лопатями розташовують в сушильній шафі за температури $(260 \pm 2) ^\circ\text{C}$ та витримують впродовж 30 хв. Після термостатування литу суміш завантажують у металеву циліндричну форму з теплоізоляційним кожухом та встановлюють вал з закріпленим вузлом з лопатями.

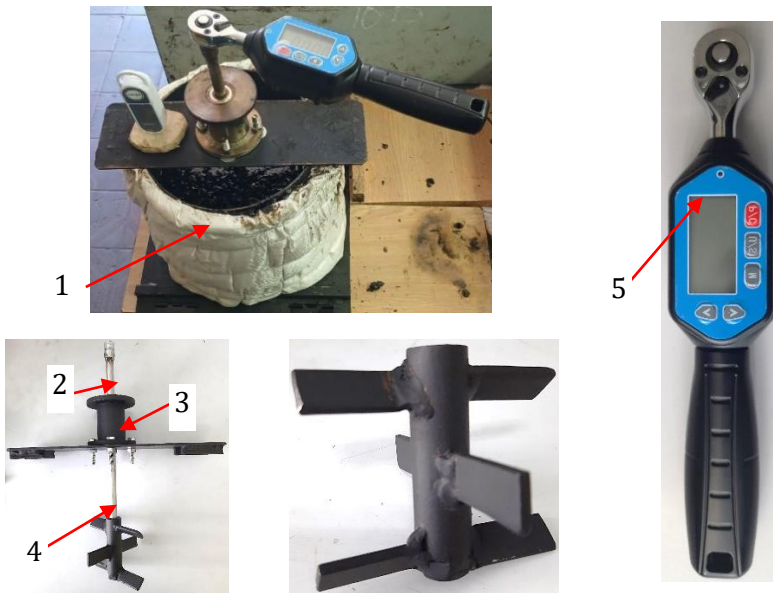


Рис. 1. Зовнішній вигляд виготовленого приладу для визначення пластичності суміші за значенням крутного моменту

За допомогою вимірювача температури визначають температуру суміші у формі, після чого за допомогою динамометричного ключа повертають вручну вал з лопатями на повний оберт 3 рази, таким чином, щоб один повний оберт здійснювати за 5 с, при цьому фіксуючи крутний момент після кожного повного обороту. За значення крутного моменту приймається середнє значення після трьох оборотів.

Форму з литою асфальтобетонною сумішшю витримують за темпера-

тури навколишнього повітря, при цьому кожну хвилину здійснюють обертання валу з лопатями для перемішування суміші та забезпечення її рівномірного охолодження, постійно визначаючи температуру суміші. Після зниження температури литої асфальтобетонної суміші на кожні 10 °С повторюють визначення крутного моменту. Випробування закінчують при досягненні температури литої суміші 190 °С або за більш нижчої температури за потреби.

За експериментальними значеннями крутних моментів, визначених за різних температур в діапазоні від 260 °С до 190 °С (або більш низьких за потреби) будують залежність крутного моменту від температури (рис. 2) та визначають коефіцієнт кореляції.

Різниця між трьома результатами випробування крутного моменту за однієї температури не повинна перевищувати 10 % від середнього значення.

Коефіцієнт кореляції залежності крутного моменту від температури випробування повинен бути не меншим ніж 0,9.

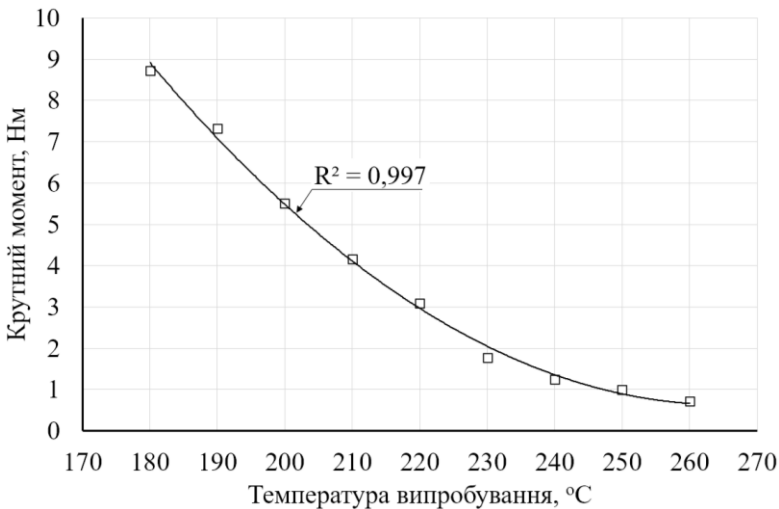


Рис. 2. Температурна залежність крутного моменту

Під час проведення перших випробувань встановлено переваги та недоліки даного методу та приладу. Суттєвою перевагою є можливість проведення всього циклу випробувань однієї суміші за різних температур без необхідності вивантаження / завантаження суміші в форму під час випробування за кожної температури. Це в свою чергу суттєво зменшує час проведення випробування. Ще однією перевагою даного методу є

можливість значної кількості визначень крутного моменту за різних температур (за необхідності, можливо визначати крутний момент навіть за зміни температури суміші на 1 – 2°C), що значно підвищує точність отримання температурної залежності крутного моменту.

Певним недоліком методу є його суб'єктивність та відносно низька відтворюваність отримуваних результатів: через те, що обертання валу з лопатями здійснюється вручну, швидкість обертання відрізняється як в процесі циклу обертання (за низької температури необхідно прикладати значні зусилля на початку обертання, що призводить до певного зниження швидкості обертання, а за високої температури за рахунок менших зусиль навпаки спостерігається збільшення швидкості обертання валу), так і у випадку проведення випробування різними операторами. Виправлення цього недоліку може бути здійснено за рахунок заміни ручного обертання валу на механічне обертання за допомогою двигуна з постійною швидкістю обертання.

Результати дослідження

Результати використання даного методу для визначення пластичності литих сумішей, представлені на рис. 3.

Встановлено, що експериментально отримані температурні залежності крутного моменту описуються ступеневими функціями другого порядку та характеризуються коефіцієнтами детермінації не нижче 0,985.

Для методу оцінювання пластичності литої асфальтобетонної суміші, що розглядається, вагомим фактором впливу на пластичність є кількість в'язучого в суміші. При збільшенні кількості бітуму суттєво знижується динаміка зменшення крутного моменту з підвищенням температури випробування. Так, для суміші ЛАБС-10 з 9 % бітуму підвищення температури випробування з 230 °C до 280 °C призводить до зменшення крутного моменту в 4,9 рази, для ЛАБС-10 з 10 % бітуму підвищення температури випробування з 200 °C до 250 °C призводить до зменшення крутного моменту в 2,5 рази, а для ЛАБС-10 з 11 % бітуму підвищення температури з 190 °C до 220 °C – в 2,2 рази. Для ЛАБС-10, випробуваної за температури 230 °C, значення крутного моменту при підвищенні вмісті бітуму з 9 % до 10 % та 11 % призводить до зниження крутного моменту відповідно з 8,45 Нм до 3,28 Нм та 1,5 Нм.

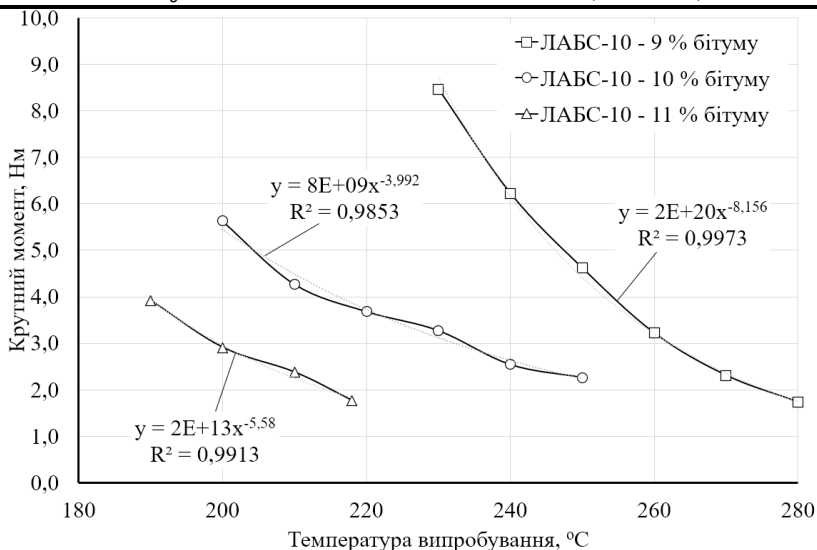


Рис. 3. Залежність крутного моменту від температури випробування ЛАБС-10 та кількості бітуму в її складі

Висновки. Здійснено виготовлення та експериментальну перевірку приладу для визначення пластичності, оснований на встановленні значення крутного моменту мішалки під час перемішування литої асфальтобетонної суміші за технологічних температур, в ході якої розроблено методику проведення випробування.

В ході експериментальної перевірки виготовленого приладу встановлено його переваги та недоліки, на основі аналізу яких запропоновано шляхи подальшого вдосконалення конструкції обладнання.

Встановлено, що даний метод (після внесення вдосконалень в конструкцію приладу та змін в методику проведення випробування) може бути рекомендовано для використання у виробничих лабораторіях вітчизняної дорожньої галузі для проектування складу литих асфальтобетонних сумішей та перевірки їх якості.

References

1. Wang C. et al. Review on Status and Development of Gussasphalt Concrete. *Materials Reports*, 2017, 31(9). P. 135-145.
2. Nikolaides A. Highway Engineering: Pavements, materials, and control of quality. CRC Press, 2014.
3. Staritzky M. Gussasphalt. Berlin, 1934. 112 p.
4. Ali A. et al. Workability evaluation of foamed warm-mix asphalt. *Journal of materials in civil engineering*. 2014. Т. 26. №. 6. P. 1-6.
5. Sikinger T., Simmleit N. Prüfung der Verarbeitbarkeit von Gussasphalt. *Bitumen*.

Heft 4, 2001. P. 27-29.

6. Bennert T. et al. Assessment of workability and compactability of warm-mix asphalt. *Transportation research record*. 2010. T. 2180. №. 1. P. 36-47.

7. Poeran N., Sluer B. Workability of asphalt mixtures. 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress. 1-3 June 2016. Prague, Czech Republic. P. 1-11.

8. Abdelgalil S.M.K., Abdul Rahman M., Arshad A.K. Development of workability measuring device for asphalt mixture using electronic transducer and temperature regulator. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. 2011. T. 1. P. 721-726.

9. Radenberg M., Gehrke M. Untersuchungen zur Möglichkeit der Verarbeitung von Gussasphalt bei maximal 230 Grad Celsius ohne viskositätsverändernde Zusätze. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unterreihe Straßenbau*. 2020. №. 146. 80 p.

10. Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt: M TA. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Asphaltbauweisen. Köln – Aug. 2011 (Deutsch). 22 p.

11. Tao M., Mallick R.B. Effects of warm-mix asphalt additives on workability and mechanical properties of reclaimed asphalt pavement material. *Transportation Research Record*. 2009. T. 2126. №. 1. P. 151-160.

Література

1. Wang C. et al. Review on Status and Development of Gussasphalt Concrete. *Materials Reports*, 2017, 31(9). P. 135-145.

2. Nikolaidis A. *Highway engineering: Pavements, materials and control of quality*. CRC Press, 2014.

3. Staritzky M. *Gussasphalt*. Berlin, 1934. 112 p.

4. Ali A. et al. Workability evaluation of foamed warm-mix asphalt. *Journal of materials in civil engineering*. 2014. T. 26. №. 6. P. 1-6.

5. Sikinger T., Simmleit N. Prüfung der Verarbeitbarkeit von Gussasphalt. *Bitumen*. Heft 4, 2001. P. 27-29.

6. Ali A. et al. Workability evaluation of foamed warm-mix asphalt. *Journal of materials in civil engineering*. 2014. T. 26. №. 6. P. 1-6.

7. Bennert T. et al. Assessment of workability and compactability of warm-mix asphalt. *Transportation research record*. 2010. T. 2180. №. 1. P. 36-47.

8. Poeran N., Sluer B. Workability of asphalt mixtures. 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress. 1-3 June 2016. Prague, Czech Republic. P. 1-11.

9. Abdelgalil S.M.K., Abdul Rahman M., Arshad A.K. Development of workability measuring device for asphalt mixture using electronic transducer and temperature regulator. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. 2011. T. 1. P. 721-726.

10. Radenberg M., Gehrke M. Untersuchungen zur Möglichkeit der Verarbeitung von Gussasphalt bei maximal 230 Grad Celsius ohne viskositätsverändernde Zusätze. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unterreihe Straßenbau*. 2020. №. 146. 80 p.

11. Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt: M TA. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Asphaltbauweisen. Köln – Aug. 2011 (Deutsch). 22 p.