

# Разработка новой технологии и техники для уплотнения композиционных материалов

Направление проекта: Новые приборы и интеллектуальные  
производственные технологии.

Выполнил: Асфандияров М.А.

Челябинск  
2019

# Введение. Актуальность.

Одной из серьезных проблем в Российской Федерации является сравнительно низкое качество большинства автомобильных дорог. Основными причинами этого являются:

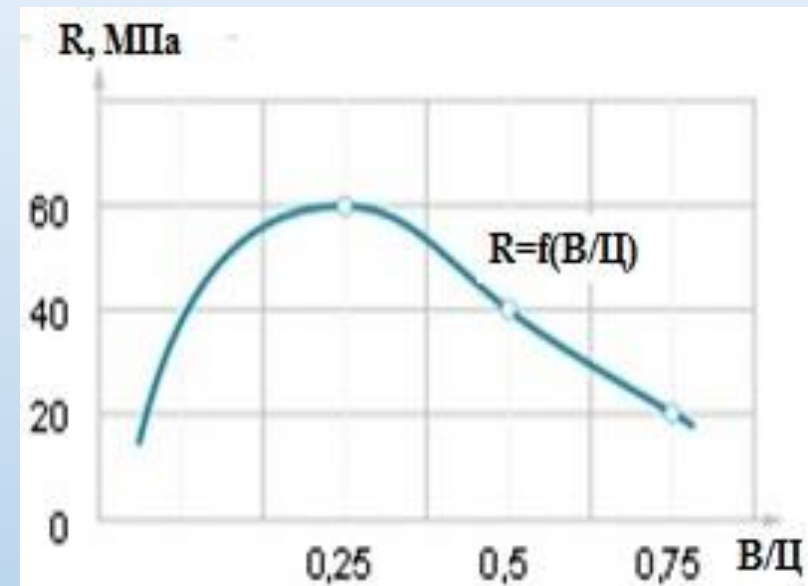
- 1) Недоуплотнение всех конструктивных слоев дороги (а именно земляного полотна, цемента-бетонного и асфальтобетонного покрытий).
- 2) Технология, используемая при строительстве дорог устарела (а именно используемые в механизмах уплотнения вибраторы и трамбующий брус создают условия для образования пор с воздухом и химически несвязанной водой).
- 3) Неблагоприятные погодные условия в большинстве регионов Российской Федерации (негативно влияют на качество как строящихся, так и уже построенных дорог).

Решение этих проблем возможно с помощью разработки новой технологии и техники, для уплотнения композиционных материалов.

## Описание существующей технологии и техники и их недостатки

В дорожно-строительных машинах для уплотнения дорожно-строительных материалов применяются трамбующий брус, виброплиты, катки (легкие, средние и тяжелые), погружные и поверхностные вибраторы. При этом, например, бетонная смесь должна иметь осадку конуса  $OK = 0...4$  см, и водоцементное отношение  $V/C = 0.45...0.5$ . Если принять расход цемента  $400 \text{ кг/м}^3$ , то для указанного  $V/C$  расход воды составит  $V = 180...200$  л., а для гидратации цемента теоретически требуется 100 л. В соответствии с технологическим регламентом, в  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси находится избыточное количество химически не связанной воды в объеме примерно 80-100 л. При меньшем количестве свободной воды (жесткие бетонные смеси) в конструкции образуются каналы после прохождения погружных вибраторов, что недопустимо. Наличие большого количества свободной воды в бетонной смеси приводит к снижению физико-механических и эксплуатационных свойств бетона: прочность (рисунок 1), морозостойкость, стираемость, долговечность. Из рисунка 1 видно при указанном  $V/C$  отношении максимально возможная прочность бетона в 1,5 раза меньше чем при применении жестких бетонных смесей.

Рисунок 1. График прочности бетона в зависимости от водоцементного отношения.



Если материал рассыпается на подготовленную поверхность, а потом усилие сжатия с помощью рабочих органов дорожных машин прикладывается сверху (рисунки 2 и 3), то вектор градиента давления направлен сверху вниз, частицы материала и воздух движутся вниз. Основная часть воздуха запрессовывается внутри уплотняемого материала, создавая пористую и неустойчивую структуру, что приводит впоследствии к образованию неровностей в виде колеи и поперечных волн от действия эксплуатационных нагрузок. По проведенным расчетам необходимо повысить массу дорожных катков до 200 тонн (сейчас максимальная масса дорожного катка составляет 25 тонн), при этом необходимо уплотнять материал не на всю глубину сразу, а частями на небольшую высоту рассыпая часть материала на уже уплотненный, иначе нижний слой покрытия будет недоуплотнен и при действии эксплуатационных нагрузок просядет, образуя колеи. Однако увеличение усилия сжатия приведет к появлению перепрессовочных трещин. Давление запрессованного воздуха в закрытых порах может достигать 5-15 Мпа, что приводит к появлению микротрещин и трещин, снижая эксплуатационные свойства уплотняемого материала.

Рисунок 2. Схема уплотняющего механизма в виде трамбующего бруса.

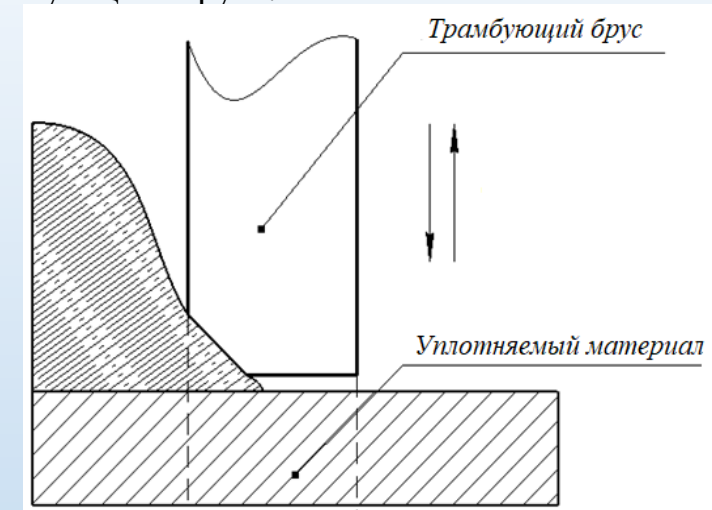
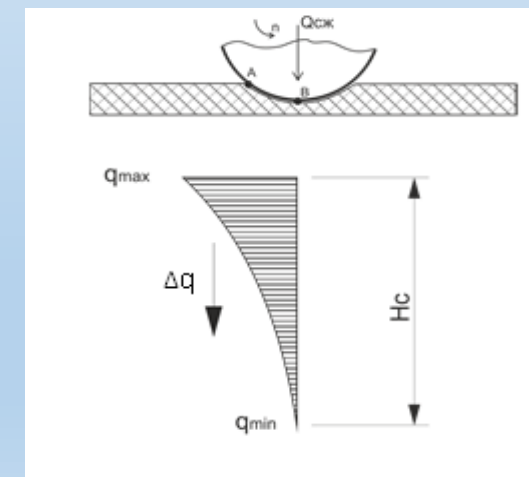


Рисунок 3. Схема уплотняющего механизма в виде дорожного катка. Эпюра давлений.



# Выводы по существующей технике и технологии:

- Увеличение усилия сжатия (увеличение массы катков) не приводит к ожидаемому увеличению плотности и прочности уплотняемого материала.
- Достигнут технологический предел увеличения усилия из за наличия в уплотняемом материале запрессованного воздуха.
- Необходимо создать условия для принудительного выхода воздуха из всего объема уплотняемого материала.

# Описание новой техники и технологии (воздухоудаляющей)

Суть новой технологии состоит в создании условий для выхода воздуха из уплотненного материала и создании наиболее плотной беспористой структуры уплотняемого материала. На рисунке 4 показана схема нового ударно-вибрационного механизма, который состоит из плиты нагнетателя 1, кривошипа 2, коромысла 3 и бункера питателя 4. Описание работы механизма: кривошип 2 вращается с угловой скоростью  $\omega$ , плита нагнетателя 1 совершает плоско параллельное движения, зачерпывая материал из бункера питателя, перемещая его в зону прессования и прессуя его, коромысло 3 совершает вращательное движение по дуге окружности радиусом  $R$ . Как видно из рисунка 4 видно, что благодаря компоновке четырехзвенного механизма усилие сжатия действующее на элементарную частицу выражается по формуле:

$$Q_{сж} = k_1 \cdot k_2 \cdot P$$

Где  $k_1$  –угловой коэффициент усиления, находится по формуле:

$$F = \frac{P}{\cos \alpha} = P \cdot k_1 \rightarrow k_1 = \frac{1}{\cos \alpha}$$

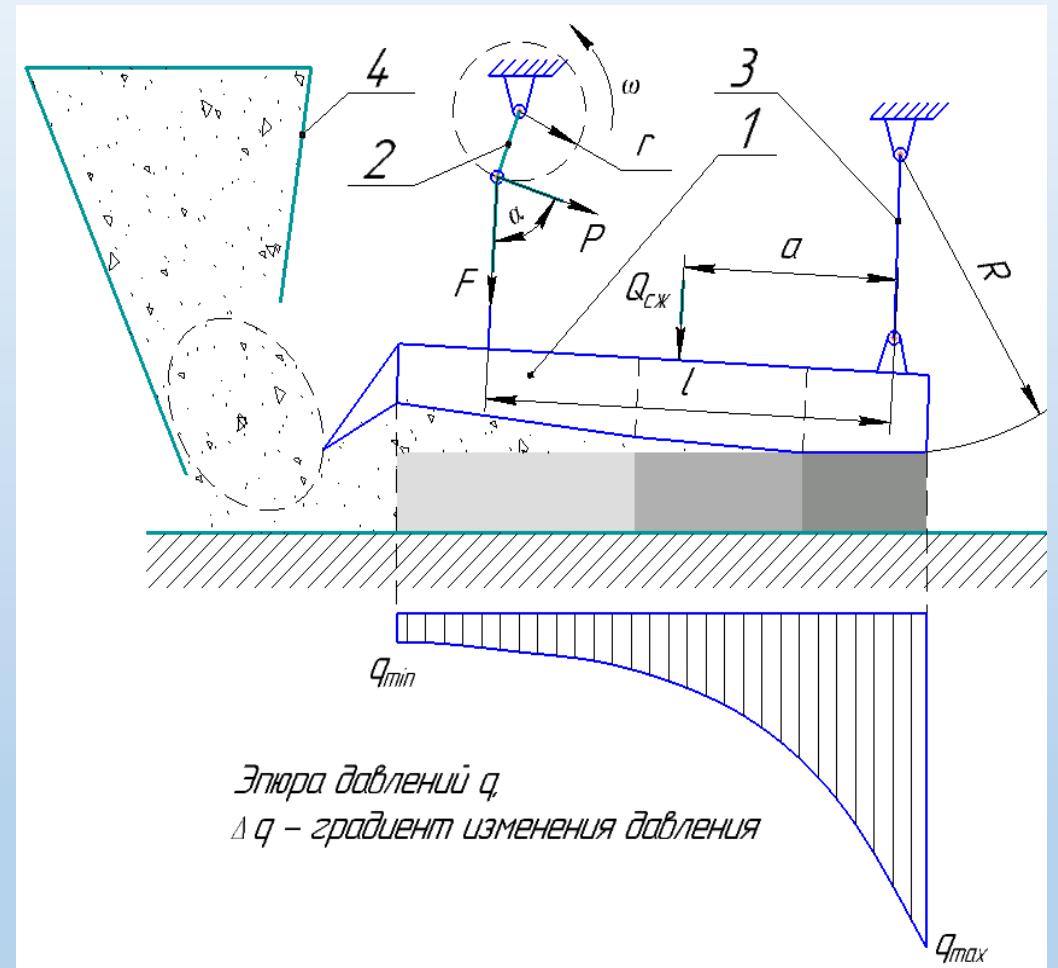
При угле  $\alpha$  **стремящемся** к  $90^\circ$  коэффициент  $k_1$  стремится к бесконечно большой величине.

$k_2$  –плечевой коэффициент усиления, находится по формуле:

$$Q_{сж} = \frac{F \cdot l}{a} = F \cdot k_2 \rightarrow k_2 = \frac{l}{a}$$

В этой формуле длина  $l$  является константой, при  $a$  **стремящемся** к 0 коэффициент  $k_2$  стремится к бесконечно большой величине.

Рисунок 4. Схема нового ударно-вибрационного механизма. Эпюра давлений.



# Преимущества новой технологии и техники

- Уменьшение движущей силы привода за счет двухступенчатого усиления (рисунок 4).
- Благодаря своей конструкции механизм совершает сдвиговые деформации, то есть на уплотняемый материал действует не только усилие сжатие но и усилие в радиальном направлении, что способствует лучшей упаковке зерен уплотняемого материала (см. рисунок 5) и как следствие более плотную и прочную структуру;
- Постепенное увеличения усилия сжатия в прессуемом материале за счет плеча Архимеда, что создает возможность выхода воздуха, воздух двигаться из зоны максимальных давлений в зону минимальных (рисунок 6).

Рисунок 5. Упаковка твердых частиц при сжатии (существующая технология и сдвиговых деформациях (новая технология).

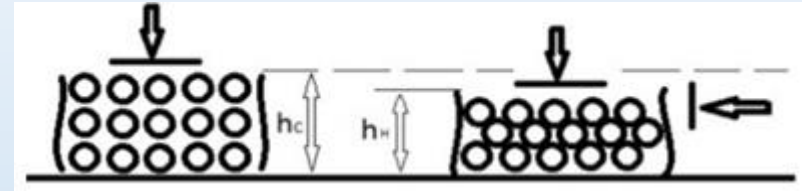


Рисунок 6. Выход воздуха из прессуемого материала.

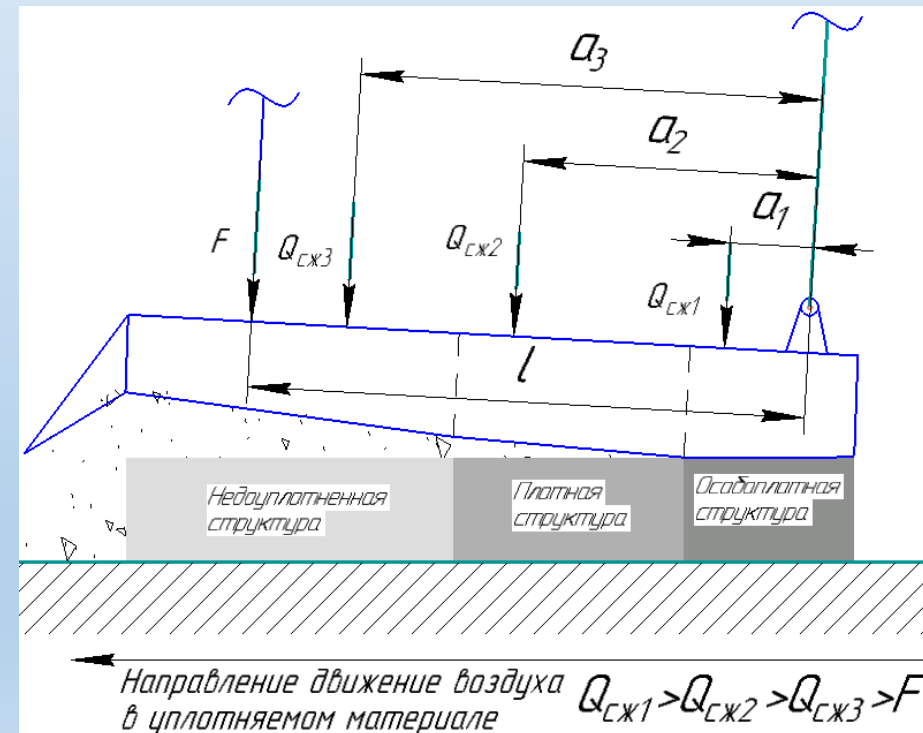
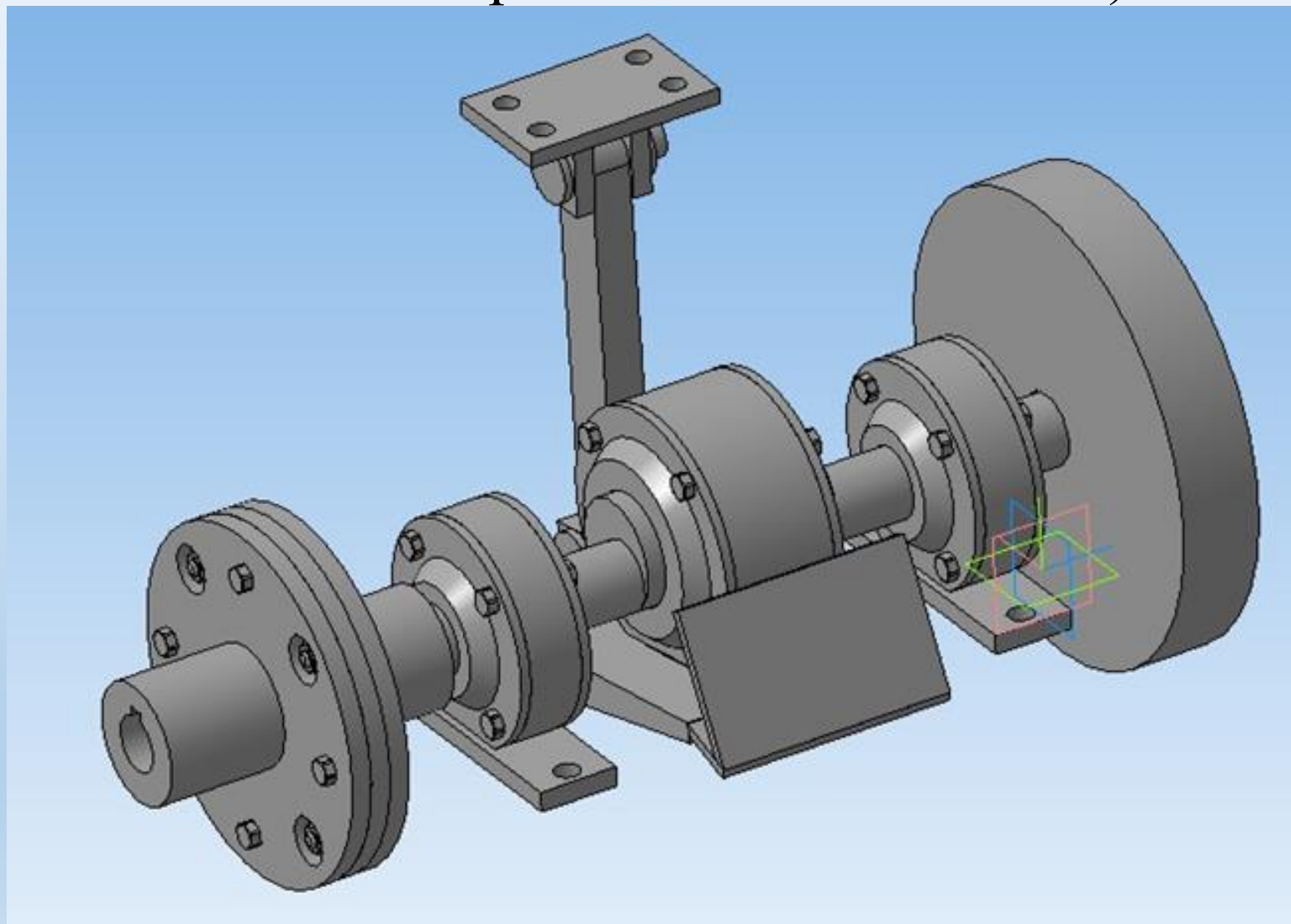


Рисунок 7. 3D модель нового ударно-вибрационного механизма (на основе четырехзвенного механизма).





# Коммерциализуемость научно-технических результатов

Разработанная технология и техника позволит:

- в значительной мере сократить расход топлива и других энергоресурсов;
- улучшить качественные показатели уплотняемого материала;
- сокращение парка специальной техники при строительстве дорог (высвобождение из работы легких, средних и тяжелых катков);
- уменьшается порог минимальной температуры при которой возможно проведение строительных работ, в следствии чего увеличивается продолжительность строительного сезона;
- результаты работы дадут новый толчок в проектировании дорожно-строительной и транспортной техники.

На данном этапе работы сложно посчитать экономическую часть проекта, но те возможности которые открывает новая технология и техника в будущем позволит экономить огромные средства, получая более прочные дороги (которые могут обходиться без ремонта до 10 лет), что в свою очередь повлечет увеличение грузоподъемности и скорости грузовых транспортных средств, улучшат логистику, уменьшит износ ходовой части автомашин, сведет к 0 количество аварий связанных с плохим качеством дорог.

# Выводы по рассматриваемому проекту

- Современные дорожно-строительные машины отечественного и зарубежного производства обеспечивают высокий уровень механизации, но не всегда обеспечивают необходимое качество строительства автомобильных дорог. Все конструктивные слои дороги недоуплотнены.
- Существующая технология уплотнения дорожно-строительных материалов, основанная преимущественно на деформациях сжатия, является «воздухозапрессовочной», так как значительная часть воздуха остается в объеме уплотняемого материала и препятствует окончательному сближению твердых частиц смеси.
- Предложена новая технология уплотнения, использующая преимущественно сдвиговые деформации и названная нами «воздухоудаляющей» технологией, обеспечивает более плотную упаковку зерен.
- Рассмотрены техническое решение для новых устройств рабочих органов машин, обеспечивающие более высокое качество уплотнения дорожно-строительных материалов.
- Потребительские свойства новых дорожно-строительных машин значительно расширены, вплоть до круглогодичного их использования, что в совокупности с высоким качеством работ обеспечит большой экономический эффект народному хозяйству.
- Одним и тем же, но модернизированным парком дорожно-строительных машин и с меньшими капитальными затратами можно строить в два раза больше автомобильных дорог с твердым покрытием.

## Публикации по проекту в соавторстве с научным руководителем:

- 1) Кондаков, С.В. Обоснование параметров ударно-вибрационного механизма уплотнения бетонной смеси для бетоноукладчика на гусеничном ходу / С.В. Кондаков, Е.И. Кромский, М.А. Асфандияров // Всероссийская научно-практическая конференция – Челябинск: ОУ ВО «Южно-Уральский институт управления и экономики», 2018. –182 с.
- 2) Кромский, Е.И. Перспективы развития техники для строительства автомобильных дорог с твердым цементобетонным покрытием / Е.И. Кромский, С.В. Кондаков, М.А. Асфандияров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроения». – 2018. – Т.18, №3. – С.30–38.
- 3) Asfandiarov M.A. “Mathematical model of the mechanism for sealing hardly deformable material” /M.A. Asfandiarov, С.V. Kondakov, Е.И. Kromsky// Принята к публикации, будет опубликована в ноябре – декабре 2019, индексируется в SCOPUS.
- 4) Кондаков, С.В. Перспективы развития техники для строительства автомобильных дорог/ С.В. Кондаков, Е.И. Кромский, М.А. Асфандияров // 11-я научно-техническая конференция, секция технические науки, ЮУрГУ 2019.
- 5) Асфандияров М.А. Перспективы развития техники для строительства автомобильных дорог с твердым цементобетонным покрытием / М.А. Асфандияров, Е.И. Кромский, К.В. Ившина, Р.Р. Ахметшина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроения». Принята к публикации, будет опубликована в конце 2019 – начале 2020.

**Спасибо за внимание!**