

## ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ В ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

*Е.И. Кромский, А.Р. Лебедь, М.С. Загорулько*

Рассматривается решение технических вопросов для улучшения экологической обстановки на автомобильных дорогах. Приведены основные причины ухудшения экологической обстановки на дорогах и в городе.

Рассматриваются основные факторы, влияющие на процесс уплотнения, особенности технологии укладки дорожно-строительных материалов, и предлагается техническое решение для получения высокоплотных структур из композиционных материалов. Представлено устройство, обеспечивающее качественное уплотнение дорожно-строительных материалов, уменьшение количества выбросов вредных веществ (продуктов сгорания топлива ДВС) во время работы дорожных катков при меньшем числе их проходов.

*Ключевые слова:* экологическая обстановка на дорогах, качество дорог, уплотняемые дорожно-строительные материалы, уплотняющие машины, сдвиговые деформации.

За последние 2–3 года в Челябинске на важнейших автомагистралях города (проспект Ленина, Свердловский проспект и т. д.) возникли хронические автомобильные пробки. Так в часы пик от ул. III Интернационала до ул. Энтузиастов проезжает около 10700 машин, из них 8000 легковых. Средняя скорость движения автотранспорта резко снизилась; **предельно допустимые концентрации вредных веществ (ПДК) от выхлопных газов автомашин выросли в десятки и сотни раз.** Время проезда 5 км участка с 8 до 11 часов и с 16 до 20 часов иногда занимает 0,5–1 часа. Выбросы по превышению ПДК выросли: CO в 76 раз, NO в 73 раза, а SO<sub>2</sub> в 3 раза [5].

К основным причинам отмеченного явления можно отнести увеличение парка автомобилей и **плохое качество поверхностей** улиц и дорог города [6].

Трещины, сколы, выбоины, ямы, неровности, некачественное сопряжение поверхности дорог с трамвайными пересечениями являются наиболее распространенными видами дефектов дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием. Дорожно-строительные материалы (ДСМ), такие как щебень, гравий, асфальтобетонные, цементобетонные смеси и др., укладываемые в процессе строительства автомобильных дорог, находятся в разрыхленном состоянии и их плотность, а следовательно, и прочность недостаточны для обеспечения нормального проезда высокоскоростных и большегрузных транспортных средств. Вследствие этого уложенные материалы требуют искусственного уплотнения, которое осуществляется различными машинами.

Уплотняемые дорожно-строительные материалы являются многофазными, включающими в себя твердую фазу из минеральных частиц различной крупности, жидкую и газообразную фазы. Процесс уплотнения состоит в том, что под воздействием нагрузки на уплотняемый материал вытесняется газообразная и в некоторых случаях жид-

кая фазы, происходит сближение минеральных частиц и их компактное и плотное расположение.

Установлено, что все слои дорожной конструкции (земляное полотно, бетонное покрытие, асфальтобетон) недоуплотнены. Некоторые эксперты считают, что для лучшего уплотнения дорожно-строительных материалов необходима более мощная техника, например, массу дорожных катков необходимо довести до 200 т и более (сейчас максимальная масса составляет 25 т), но можно найти новые подходы к решению данной проблемы [1, 2]. Для комплексного решения поставленной задачи необходим и новый подход к технологии и технике для уплотнения дорожно-строительных материалов. В настоящее время существующей дорожно-строительной техникой невозможно получить предельно плотные конструкции. Для увеличения плотности материала исследователи рекомендуют увеличить число проходов катков по одному и тому же участку с 8...12 раз до 24...30 раз, но это «затратный путь» решения поставленной задачи.

Рассмотрим иной путь решения этой задачи. Сейчас дорожно-строительные материалы раскладывают, а затем уплотняют, прикладывая внешнюю силу сверху, и все три составляющие (фазы) загоняются вовнутрь конструкции («воздухозапрессовочная» технология уплотнения). Происходит компрессионное сжатие воздуха с образованием закрытых пор. А наличие воздуха в конструкциях дорожных слоев – это подвижность материалов под действием эксплуатационных нагрузок, что приводит к образованию колеи и волнообразованию. Избыточное количество жидкости в конструкции (вода в цементобетоне, битум в асфальтобетоне) приводит к недобору физико-механических свойств (снижается прочность, морозостойкость и др.). Для того чтобы избежать этих недостатков, необходимо создать условия для организованного выхода, миграции, воздуха из уплотняемого материала. Если в уплотняемом ма-

## Технология и организация строительного производства

териале создать градиент давления, то будем наблюдать движение частиц из зоны высокого давления в зону с меньшим давлением [3]. При этом используются преимущественно не сжимающие деформации, а сдвиговые. Твердые частицы упаковываются более плотно, чем при сжимающих деформациях (рис. 1).

К основным факторам, влияющим на процесс уплотнения, относятся:

1. Преобладание сдвиговых или сжимающих деформаций.
2. Размер, форма, прочность и другие свойства минеральной части, т. е. свойства твердой фазы материала.
3. Количественное соотношение твердой, жидкой и газообразной фаз.
4. Физико-механические свойства материала как многофазного в целом.
5. Максимальное напряжение, прикладываемое на поверхности уплотняемого материала и определяющее напряженное состояние всего объема уплотняемого материала.
6. Время нахождения материала в напряженном состоянии и скорость изменения напряженного состояния.
7. Частота и число приложений циклической нагрузки.

Первые три фактора зависят от свойств уплотняемого материала и схемы нагружения, а последние определяются конструктивными параметрами уплотняющей машины.

Практика дорожного строительства показывает, что существующие машины не всегда обеспе-

чивают качество уплотнения дорожно-строительных материалов. Движение слоёв уплотняемой смеси в тангенциальном направлении способствует миграции (вытеснению) воздуха и химически несвязанной технологической жидкости. Современные асфальтоукладчики в дополнение к имеющемуся оборудованию для уплотнения смеси (трамбующий брус, виброплита) снабжают рабочий орган ещё и трамбующими планками с гидропульсаторами, позволяющими получать более высокий коэффициент уплотнения смеси ( $K_v > 0,86$ ).

Как показали исследования А.А. Афанасьева (Москва), более прогрессивные уплотняющие системы основаны на импульсных режимах уплотнения, позволяющих повышать производительность труда, качество уплотнения, снижать энергетические затраты, улучшать условия труда путём снижения шума и вибраций [3].

В ЮУрГУ разработаны проекты уплотняющих машин, использующих преимущества одновременно трех основных методов уплотнения (укатка, трамбование, вибрирование) в одном рабочем органе [4].

Работает устройство следующим образом. При вращении мотор-редуктора (на рис. 2 не показан) кривошипно-шатунный механизм (КШМ) 5 перемещает подвижный шарнир 11 рычагов 3 и 4, имеющих сверху неподвижное шарнирное крепление, а внизу – подвижное 10. Платформа нагнетателя 2 совершает угловые перемещения вокруг шарнира 8, занимая то горизонтальное положение, то под некоторым углом к горизонту (рекомендуется не больше  $30^\circ$ ).

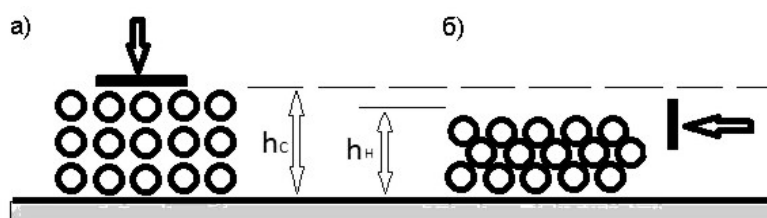


Рис. 1. Схемы возможных упаковок зерен:  
а – воздухозапрессовочная технология; б – воздухоудаляющая технология

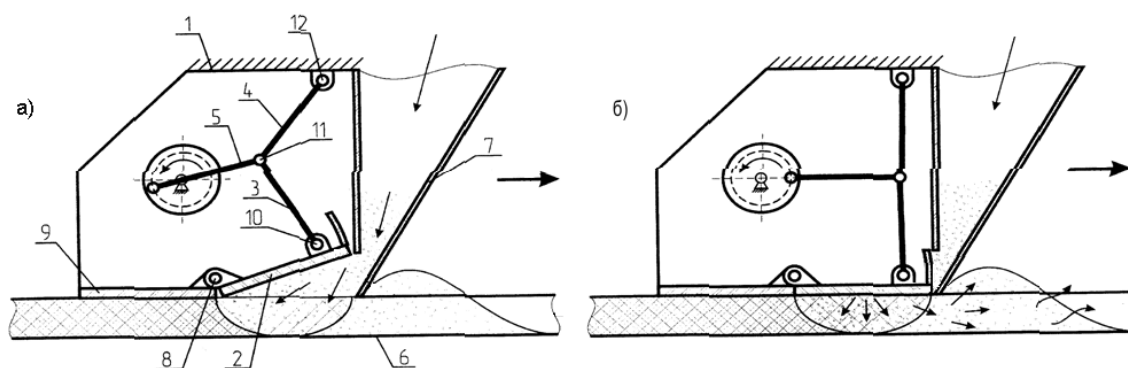


Рис. 2. Схема устройства для получения высокоплотных структур из композиционных материалов:  
а – верхнее положение платформы нагнетателя (засыпка материала);  
б – нижнее положение платформы нагнетателя (прессование)

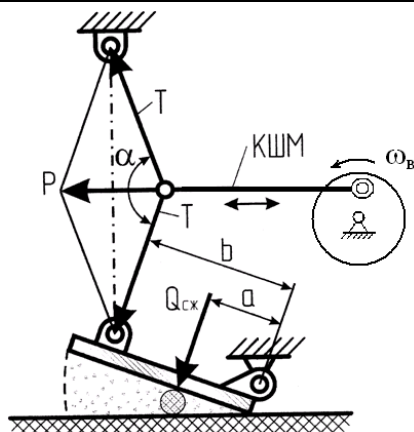


Рис. 3. Схема действующих сил на элементарную частицу прессуемого материала

При движении платформы вверх сыпучий материал из бункера-питателя 7 под собственным весом перемещается в зону прессования под рабочую поверхность платформы. При движении платформы 2 вниз новая порция материала вдавливаются в объём прессовки, увеличивается её плотность. Избыток материала и воздуха выдавливается в открытую зону. Выглаживающая плита 9 создаёт подпор прессуемому материалу, обеспечивая направленное движение воздуха и избытка материала в сторону наименьшего сопротивления, т. е. в сторону открытого пространства. Шарнирное крепление платформы 2 и угловое её расположение обеспечивает градиент давления на уплотняемый материал: максимальное давление вблизи неподвижного шарнира 8 и уменьшение его в направлении подвижного шарнира 10.

Как только перед бункером-питателем появится волна выпора материала, вытесненного платформой из зоны прессования, включается механизм передвижения машины.

Существенным преимуществом нового устройства является двухступенчатое увеличение движущей силы  $P$  (рис. 3), т. е. усилие сжатия  $Q_{сж}$ , действующее на элементарную частицу, внедряемую в среду уплотняемого материала, определяется

$$Q_{сж} = Pk_1k_2, \quad (1)$$

где  $P$  – усилие, развиваемое приводом КШМ,  $k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты усиления.

Коэффициент усиления  $k_1$  определяется из параллелограмма сил с углом  $\alpha$  между рычагами (рис. 2)

$$\frac{P}{2} = T \cos \frac{\alpha}{2}; \quad (2)$$

$$T = \frac{P}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} = Pk_1, \quad (3)$$

$$\text{где } k_1 = \frac{1}{\frac{1}{2} \cos \frac{\alpha}{2}}; \quad k_1 \gg 1.$$

Коэффициент усиления  $k_1$  стремится к бесконечно большой величине при угле  $\alpha$ , приближающемся к  $180^\circ$ , так как  $\cos \frac{\alpha}{2}$  стремится к нулю.

Коэффициент усиления  $k_2$  определяется из равенства

$$Q_{сж} = \frac{b}{a} T = Tk_2, \quad (4)$$

где  $k_2 = \frac{b}{a}$ ;  $k_2 > 1$ ,  $a$  – расстояние от элементарной частицы материала до неподвижной шарнирной опоры,  $b$  – вылет (длина) плиты платформы.

Отсюда следует вывод: даже при небольшой движущей силе  $P$  усилие сжатия  $Q_{сж}$  прессуемого материала может достигать любых численных значений, включая бесконечно больших, что обеспечивает получение особо плотных структур даже в труднодеформируемых материалах.

Для успешной работы устройства необходимо соблюдать условие: максимальный угол наклона плиты платформы 2 к горизонту не должен превышать  $30^\circ$ , чтобы материал не выскальзывал из зева платформы обратно в бункер-питатель. Для получения максимального усилия сжатия в нижнем положении платформы угол между рычагами 3 и 4 должен быть равен или меньше  $180^\circ$  (рекомендуемый угол  $175-178^\circ$ ).

Преимущества нового устройства и технологии:

- устройство обеспечивает получение направленных сдвиговых деформаций в прессуемом материале, что создаёт условия для более плотной упаковки зёрен при небольших усилиях сжатия;
- высокий коэффициент усиления внешних сил действующих на рабочем органе;
- меньшее число проходов дорожных катков при лучшем уплотнении;
- данная технология идеальна для трудноуплотняемых битуминозных материалов;
- уменьшается количество выбросов вредных веществ (продуктов сгорания топлива ДВС) во время работы дорожных катков при меньшем числе их проходов;
- более широкий диапазон допускаемых температур при уплотнении;
- количество битума в поверхностном слое не увеличивается, что означает высокое начальное сцепление;
- низкая вибрационная нагрузка;
- качественное уплотнение любых широко применяемых дорожно-строительных материалов.

**Заключение.** Следует отметить, что зарубежных аналогов рассмотренной выше новой дорожно-строительной техники нет, она не требует поставки деталей из-за рубежа и применение ее на дорогах Челябинска и области вполне перспективно для решения транспортных задач и улучшения экологической обстановки на улицах и дорогах.

### Литература

1. *Транспортная система России – 2009.* – М.: Компания РЕАЛ-МЕДИА, 2009. – 360 с.
2. Форссблад, Л. *Вибрационное уплотнение грунтов и оснований / Л. Форссблад; пер. с англ. И.В. Гагариной.* – М.: Транспорт, 1987. – 188 с.
3. Афанасьев, А.А. *Технология импульсного уплотнения бетонных смесей / А.А. Афанасьев.* – М.: Строиздат, 1987. – 168 с.
4. Патент ПМ РФ RU № 93320. *Устройство* – для получения изделий из композиционных материалов / Е.И. Кромский, В.Н. Бондарь, А.В. Свирид, С.А. Куликовский, К.В. Тихонов. – Заявлено 17.12.2009.
5. *Методика расчета в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86.* – Л.: Гидрометеиздат, 1987.
6. Павлова, Е.В. *Экология транспорта / Е.В. Павлова.* – М.: Транспорт, 2000. – 247 с.

**Кромский Евгений Ильич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Колесные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), ekromskiy@mail.ru

**Лебедь Анна Рафиковна**, старший преподаватель кафедры «Технология строительного производства», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), lebedanna@mail.ru

**Загорюлько Михаил Сергеевич**, инженер кафедры «Технология строительного производства», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), zagorulko@mail.ru

*Поступила в редакцию 24 ноября 2014 г.*

---

**Bulletin of the South Ural State University**  
**Series “Construction Engineering and Architecture”**  
**2015, vol. 15, no. 1, pp. 25–28**

---

## ENVIRONMENTAL ISSUES OF ROAD SECTOR

*Y.I. Kromskiy, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, ekromskiy@mail.ru*

*A.R. Lebed, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, lebedanna@mail.ru*

*M.S. Zagorulko, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, zagorulko@mail.ru*

It is devoted to the solution of technical issues to improve environmental situation on the roads. Basic grounds for environmental degradation on the roads and in the city are given. Main factors influencing the process of compaction, features of technology for placement of road-building materials are considered; engineering solution for high-density structures made of composite materials is given. The device for a good quality placement of road-building materials, reducing the amount of harmful emissions (fuel combustion products by ICE) during operation of rollers with a smaller number of passes is considered.

*Keywords: environmental situation on the roads, road quality, placed road-building materials, tamping machines, shear deformation.*

### References

1. *Transportnaya sistema Rossii* [The transport system of Russia]. Moscow, Company REAL-MEDIA Publ., 2009. 360 p.
2. Forssblad L. *Vibratsionnoe uplotnenie gruntov i osnovaniy* [Vibratory compaction of soils and grounds]. Moscow, Transport Publ., 1987. 188 p.
3. Afanas'ev A.A. *Tekhnologiya impul'snogo uplotneniya betonnykh smesey* [Technology pulsed compaction of concrete mixtures]. Moscow, Stroizdat Publ., 1987. 168 p.
4. Kromskiy E.I., Bondar' V.N., Svirid A.V., Kulikovskiy S.A., Tikhonov K.V. *Ustroystvo dlya polucheniya izdeliy iz kompozitsionnykh materialov* [The apparatus for producing products from composite materials]. Patent RF, no 93320, Application 17.12.2009.
5. *Metodika rascheta v atmosfernom vozdukhue vrednykh veshchestv, soderzhashchikhsva v vybrosakh predpriyatiy. OND-86* [Method of calculation in the air of harmful substances in industrial emissions. OND-86]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1987.
6. Belousova B.N. *Prikladnaya mekhanika nazemnykh tyagovo-transportnykh sredstv s mekhanotropnymi sistemami* [Applied Mechanics ground towing vehicles mehanotropnymi systems]. Moscow, Agrokonsalt Publ., 2013. 612 p.
7. Pavlova E.V. *Ekologiya transporta* [Ecology transport]. Moscow, Transport Publ., 2000. 247 p.

*Received 24 November 2014*