DOI 10.15593/24111678/2017.04.07

УДК 625.7

А.В. Кочетков^{1, 2}, Л.В. Янковский²

¹Саратовский государственный технический
университет имени Ю.А. Гагарина, Саратов, Россия

²Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФОГИПСА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МОНОЛИТНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Рассмотрены и проанализированы вопросы применения многотоннажного побочного продукта производства минеральных удобрений – фосфогипса. Этот материал можно применять для дорожного строительства, так как фосфополугидрат сульфата кальция после уплотнения образует прочный монолитный материал. Показаны преимущества конструкций дорожных одежд с монолитными слоями из фосфогипса. Более высокие прочностные свойства слоев из фосфогипса, по сравнению со слоями из зернистых материалов, позволяют применять вместо многослойных конструкций дорожной одежды двуслойные, выдерживающие более высокие нагрузки.

Слой из фосфогипса работает как монолитная плита, распределяющая нагрузку на большую грунтовую поверхность и снижающая напряжения в грунте. Уменьшение удельного давления на грунт снижает вероятность появления в нем местных пластических деформаций и тем самым обеспечивает длительную сохранность ровности покрытия. Свойства фосфогипсовой плиты позволяют осуществить принцип унификации конструкции дорожной одежды. Это гарантирует минимум конструктивных слоев, времени, технологических операций и строительной техники. Принципы унификации дорожных конструкций с использованием фосфогипса позволяют учитывать все многообразие воздействий природно-климатических факторов, исключить некоторые из них или минимизировать.

В статье описаны работы по практическому изготовлению оснований автодороги из фосфогипса. На основе проведенных исследований можно сделать вывод о целесообразности расширения практики применения данного материала для строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог.

Ключевые слова: фосфогипс, вяжущие свойства, монолитный слой, дорожная одежда, строительство.

A.V. Kochetkov^{1, 2}, L.V. Yankovsky²

¹Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
Saratov, Russian Federation

²Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

APPLICATION OF PHOSPHOGYPSUM FOR THE CONSTRUCTION OF INDISTINGUISHABLE LAYERS OF ROAD PAVEMENT

Issues of application of a large tonnage by-product of production of mineral fertilizers, namely phosphogypsum, have been considered and analyzed. This material can be applied to road construction since phosphorus hemihydrate of calcium sulfate after consolidation forms strong monolithic material. Advantages of road pavement structures with indistinguishable layers from phosphogypsum are shown. Higher strength

properties of layers from phosphogypsum in comparison with layers from granular materials allow applying two-layer structures that maintain higher loadings instead of multi-layer road pavement structures.

The layer from phosphogypsum works as a monolithic plate distributing the load onto a big soil surface and reducing soil stress. Reduction of soil specific pressure reduces probability of emergence of local plastic deformations and thus ensures long safety of flatness of the pavement. Characteristics of a phosphogypsum plate allow carrying out the principle of unification of a design of road pavement structure; it guarantees a minimum of constructive layers, time, production steps and the construction equipment used. The principles of unification of road structure with the use of phosphogypsum allow considering all the variety of influences of climatic factors and excluding or minimizing some of them.

In this paper works on production of road pavement from phosphogypsum are described. On the basis of the conducted researches it is possible to make a conclusion on the expediency of the expansion of practice of application of phosphogypsum for construction, reconstruction and repair of highways.

Keywords: phosphogypsum, cementing properties, indistinguishable layers, road pavement, construction.

В практике современного автодорожного строительства признано применение инновационных решений, при этом особенно интересны новые технологии переработки и утилизации промышленных отходов, например многотоннажные отходы промышленности, которые все стараются утилизировать [1–3]. Наиболее крупным здесь является химическое производство минеральных удобрений и экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) [4].

При этом производстве с использованием серной кислоты образуется огромное количество твердого побочного продукта – фосфогипса. При получении 1 т фосфорной кислоты, в зависимости от применяемой технологии и сырья, получается от 2 до 6 т фосфогипса [5–8]. Существуют два вида фосфогипса: дигидрат ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и полу-гидрат ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). Только что приготовленный фосфогипс содержит 25–40 % воды и имеет температуру 90–105 °С. Свойства дигидрата и полугидрата существенно разнятся. После изготовления полугидрат обладает вяжущими свойствами, но постепенно превращается в дигидрат, а далее – в гипсовый камень. Время такого превращения, которое может занимать от нескольких часов до нескольких суток, зависит от количества в фосфогипсе фосфорной кислоты, а также температуры среды. Дигидрат не обладает вяжущими свойствами. В отвале он, постепенно теряя воду, превращается в белый порошок.

В Российской Федерации накопилось уже огромное количество отходов фосфогипса (дигидрата сульфата кальция) [9]. Возможно, это сотни миллионов тонн. Каждый год количество этого продукта увеличивается. Около 50 млн т фосфогипса находится на полигоне АО «АПАТИТ» (г. Балаково, Саратовская область).

Вопрос утилизации данного материала обсуждается и рассматривается уже очень давно. Фосфогипс доступен и обладает невысокой стоимостью. Этим объясняется огромный интерес ученых и производ-

ственников к его утилизации путем разработки методов получения с его помощью строительных материалов и конструкций.

Зарубежными и отечественными учеными опубликованы теоретические и экспериментальные исследования по различным вопросам складирования, хранения, содержания отвалов, влияния на окружающую среду, структурообразования материалов на основе фосфогипса, его применения [4, 10–12]. Однако пока проблема утилизации данного материала в России не решена, в отличие от других стран. По некоторым публикациям известно, что в Германии, Бельгии, Японии степень использования фосфогипса составляет около 100 %.

Для дорожного строительства наиболее целесообразно применение фосфополугидрата сульфата кальция вследствие его способности после уплотнения образовывать прочный монолитный материал.

Устройство монолитных слоев из фосфогипса является эффективным направлением в конструировании дорожных одежд, предусматривающим использование побочного продукта производства взамен кондиционных дорожных каменных материалов. При устройстве слоев основания из фосфогипса поступление атмосферной влаги в земляное полотно с поверхности дорожной одежды практически исключается. Вследствие этого влажность грунта рабочего слоя земляного полотна будет значительно меньше, чем при устройстве оснований из традиционных каменных материалов на дренирующем слое из песка. В результате хорошей распределяющей способности монолитных слоев из фосфогипса ровность покрытий с такими основаниями существенно лучше, чем на щебеночном или гравийном основании. Многолетний опыт эксплуатации участков дорог с дорожными одеждами с применением фосфогипса показывает, что слои из фосфогипса работают как прочная монолитная плита при выполнении функций основания и покрытия.

Прочность влажных образцов, отобранных из основания, достигает 10 МПа. Отсутствие выкрашивания на поверхности покрытия из фосфогипса свидетельствует о его достаточно высокой морозостойкости. Это явление можно объяснить особой структурой пор. Вода не заполняет весь объем пор, и микрокапилляры выполняют роль резервного объема, куда вытесняется вода в процессе замерзания. Кроме этого, тонкопористая структура и наличие микродобавок оксида фосфора P_2O_5 , который образует кристаллогидратные композиции с водой, существенно снижают температуру ее замерзания.

Аналогом слоев из фосфогипса являются слои из укрепленных грунтов. В Российской Федерации сделаны и эксплуатируются десятки лет более 30 000 км автодорог с дорожными одеждами, содержащими цементогрунты [13, 14]. Во всем мире площадь дорожных одежд с конструктивным слоем из укрепленного грунта на автодорогах и аэродромах превышает уже свыше 3 млрд м² [14].

Анализ результатов наблюдений за эксплуатируемыми участками дорог с дорожными одеждами, содержащими монолитные слои из укрепленных грунтов и материалов в районах с неблагоприятными природными и гидрогеологическими условиями, показал их превосходство в сравнении с дорожными основаниями из зернистых стройматериалов по показателям ровности и долговечности [15].

От ровности покрытия существенно зависят безопасность движения и стоимость перевозок. Так, на автодорогах с удовлетворительным по ровности покрытием количество дорожно-транспортных происшествий в 1,5–2 раза больше, чем на автодорогах с хорошим по ровности покрытием, при этом себестоимость перевозок превышает в 1,3–1,5 раза [16].

Слои из фосфогипса существенно улучшают водно-тепловой режим земляного полотна. Монолитные слои из данного материала имеют меньшую остаточную пористость по сравнению с зернистыми материалами и поэтому не являются аккумуляторами воды, обычно накапливающейся в порах зернистых материалов дорожной одежды в осеннее и весеннее время и значительно снижающей прочность грунта, а также всей дорожной одежды. Слои из фосфогипса имеют низкую теплопроводность. Грунт рабочего слоя под проезжей частью в весенний период будет оттаивать позже, чем под обочинами и откосами земляного полотна, что создает благоприятные условия осушения грунта рабочего слоя.

В весенний расчетный период общий модуль упругости дорожной одежды с монолитным основанием или другими слоями из укрепленных грунтов в 1,5–3 раза выше, чем на аналогичных равнопрочных конструкциях со слоями из зернистых материалов. Важно отметить, что давление на грунт земляного полотна на таких участках почти в 3 раза меньше, чем на участках со слоями из зернистых материалов. Слой из фосфогипса работает как монолитная плита, распределяющая нагрузку на большую грунтовую поверхность и снижающая напряжения в грунте (рис. 1).

Уменьшение удельного давления на грунт снижает вероятность появления в нем местных пластических деформаций и тем самым обеспечивает длительную сохранность ровности покрытия.

Свойства фосфогипсовой плиты позволяют осуществить принцип унификации конструкции дорожной одежды. Это гарантирует минимум конструктивных слоев, времени, технологических операций и строительной техники [17]. Принципы унификации дорожных конструкций с использованием фосфогипса позволяют учитывать все многообразие воздействий природно-климатических факторов, исключить некоторые из них или минимизировать. Все задачи конструирования можно свести к двум основным:

- обеспечение необходимой прочности одежды за счет основания;
- сохранение устойчивости дорожной конструкции к воздействию природно-климатических факторов за счет недопущения увлажнения рабочего слоя земляного полотна и слоев дорожного основания.

Рис. 1. Напряжения в грунте под дорожной одеждой

Рис. 2. Конструкции дорожных одежд

Рис. 3. Опытный участок автодороги на территории АО «АПАТИТ» в Балаковском районе Саратовской области, на котором было произведено строительство с использованием фосфогипса по упрощенной технологии

Такое отношение к проектированию в значительной степени снижает необходимость применения сложных многослойных конструкций, включающих узкофункциональные слои (дренирующие, прерывающие прослойки, морозозащитные, теплоизолирующие). Толщина, количество слоев и их взаимное сочетание зависят от конкретных условий и устанавливаются расчетом, а также технико-экономическим обоснованием дорожной конструкции [17].

Более высокие прочностные свойства слоев из фосфогипса, по сравнению со слоями из зернистых материалов, позволяют применять

вместо многослойных конструкций дорожной одежды двуслойные, выдерживающие более высокие нагрузки (рис. 2).

Путем увеличения допустимой нагрузки на ось в 2 раза можно повысить грузооборот в 1,5–2 раза. При этом может быть значительно снижена общая толщина дорожной одежды, что позволяет уменьшить на 45–75 % потребность в дорогостоящих кондиционных минеральных материалах (щебне, песке), снизить стоимость строительства дорожной одежды на 50 %. Слой монолитного легкого фосфогипса дорожного является эффективной заменой традиционным материалам, обеспечивающим стабильность водно-теплового режима земляного полотна и дорожной одежды, дает решение ряду проблем, которые не могут решить зернистые материалы, применяемые в качестве компенсирующих слоев в основании дорожной одежды. Малая плотность и низкая теплопроводность фосфогипсовой плиты позволяют применять этот материал в качестве монолитного теплоизоляционного слоя на слабых грунтах с повышенной пучинистостью и близкозалегающими грунтовыми водами на любых дорогах в любой дорожно-климатической зоне.

Авторами по заданию АО «АПАТИТ» (г. Балаково, Саратовская область) разработаны СТО 24406528-01–2016 «Рекомендации по устройству расчетных слоев дорожных одежд из фосфогипса дорожного» (согласован в Федеральном дорожном агентстве, 2016 г.) и СТО 24406528-02–2016 «Конструкции многослойные дорожных одежд с применением фосфогипса. Правила строительства, реконструкции и ремонта» (зарегистрирован в ТК 465 «Строительство», 2017 г.).

Объектом стандартизации является технология устройства расчетных слоев дорожных одежд из фосфогипса дорожного при строительстве и ремонте автомобильных дорог. Стандарты назначают в соответствии с Законом РФ «О техническом регулировании» правила исполнения работ по устройству расчетных слоев дорожных одежд из фосфогипса дорожного при строительстве и ремонте автомобильных дорог, которые оказывают влияние на безопасность строительства, а также требования к изделиям, используемым при выполнении указанных работ, требования по эксплуатации, правила приемки работ, методы испытания и контроля, а также требования безопасности.

В рамках авторского сопровождения построены опытные участки автомобильных дорог в Балаковском районе Саратовской области (рис. 3).

На основе проведенных исследований и практического применения материала можно сделать следующий вывод: монолитным фосфо-

гипсом можно заменять традиционные материалы в дорожной одежде, при этом он обладает рядом преимуществ:

- уменьшает расходы на строительство дорожных одежд за счет снижения потребности в кондиционных зернистых материалах;
- снижает или вовсе исключает промерзание грунта под дорожной одеждой, что обеспечивает возможность применения в верхней части земляного полотна местных грунтов, относящихся к пучинистым;
- увеличивает темп строительства дороги за счет уменьшения объемов работ;
- обеспечивает возможность понижения рабочей отметки насыпи на участках, где при традиционном конструировании действуют нормативные ограничения по минимуму возвышения насыпи над уровнем поверхностных или подземных вод и над уровнем земли;
- увеличивает межремонтный период даже для дорог, построенных в сложных гидрогеологических и климатических условиях.

Таким образом, в связи с вышесказанным целесообразно расширять практику применения фосфополугидрата сульфата кальция для строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог.

Статья подготовлена в рамках научного сопровождения внедрения дорожного фосфогипса для строительства и ремонта автомобильных дорог, выпускаемого на АО «АПАТИТ» (г. Балаково, Саратовская область).

Список литературы

1. Михеенков М.А. Влияние прессования на структурные превращения фосфогипса и разработка технологии получения вяжущих материалов и строительных изделий на его основе // Вестник Юж.-Урал. гос. ун-та. Строительство и архитектура. – 2010. – № 15 (191). – С. 25–27.
2. Стефаненко И.В. Эффективные технологии в переработке производственных и бытовых отходов // Изв. Казан. гос. арх.-строит. ун-та. – 2011. – № 2 (16). – С. 235–240.
3. Абраменко А.А. Строительные материалы на основе фосфогипса // Науч. вестник Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Высокие технологии. Экология. – 2017. – № 1. – С. 65–70.
4. Mamataliyev A.A., Namazov Sh.S. Nitrogen-sulphur containing fertilizers based on ammonium nitrate, ammonium sulphate and phosphogypsum and their commodity // European Research. – 2017. – № 8 (31). – P. 8–9.

5. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. Промышленная переработка фосфогипса. – СПб.: Стройиздат, 2007. – 104 с.
6. Арзамасцев С.В. Закономерности технологии базальто- и фосфогипсонаполненных полимерных композиционных материалов: дис. ... д-ра техн. наук. – Саратов, 2011. – 337 с.
7. Игленкова М.Г. Физико-химические закономерности получения композиционных материалов на основе фосфогипса: дис. ... канд. хим. наук. – Саратов, 2013. – 170 с.
8. Яшин С.О. Технология и свойства модифицированных фосфогипсом битумоминеральных композиций: дис. ... канд. техн. наук. – Ростов н/Д, 2013. – 152 с.
9. Проблемы и перспективы использования вторичных продуктов переработки природных фосфатов для получения строительных материалов / А.П. Ильин, С.П. Кочетков, С.В. Брыль, Г.В. Рухлин // Экология и строительство. – 2016. – № 4. – С. 21–29.
10. Фосфогипс-гипс-полимер қосымшалар жүйесінде құрғақ құрылыс қоспалар құрамын жасау / А. Сағындықов, С.М. Тамабекова, А.Б. Турмахамбетова, Е.А. Абуталипов // Механика и технологии. – 2016. – № 3 (53). – С. 120–124.
11. Багдасаров А.С., Урусов Д.А. Рационализация состава сырьевой смеси для производства строительных изделий из фосфогипса // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 2. – С. 96–98.
12. Строительные материалы на основе фосфогипса / В.И. Винниченко, Т.А. Костюк, Н.Н. Мокренко, Т.Г. Иващенко // Сухие строительные смеси. – 2014. – № 3. – С. 18–19.
13. Фурсов С.Г. Основные направления в области исследований укрепленных грунтов // Научные исследования и разработки: сб. тр. СоюздорНИИ. – М., 2006. – С. 22–23.
14. Автомобильные дороги и мосты. Строительство конструктивных слоев дорожных одежд из грунтов, укрепленных вяжущими материалами. Обзорная информация / ФГУП «Информавтодор». – М., 2007. – Вып. 3.
15. РосдорНИИ. Руководство по грунтам и материалам, укрепленным органическими вяжущими / ФГУП «Информавтодор». – М., 2003.
16. Прокопец В.С. Повышение эффективности дорожно-строительных материалов механоактивационным модифицированием исходного сырья: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. – Омск, 2005. – 341 с.
17. Голубева Е.А. Регулирование свойств дорожного цементогрунта методом модифицирования полимерными добавками: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. – Улан-Удэ, 2009. – 228 с.

References

1. Miheenkov M.A. Vlijanie pressovanija na strukturnye prevrashhenija fosfogipsa i razrabotka tehnologii poluchenija vjazhushhih materialov i stroitel'nyh izdelij na ego osnove [The effect of extrusion on the structural transformation of phosphogypsum and development of technology of binding materials and construction products based on it]. *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura*, 2010, no 15 (191). pp. 25-27.
2. Stefanenko I.V. Jefferktivnye tehnologii v pererabotke proizvodstvennyh i bytovyh othodov [Effective technology in the processing of industrial and domestic waste]. *Izvestija Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2011, no 2 (16), pp. 235-240.
3. Abramenko A.A. Stroitel'nye materialy na osnove fosfogipsa [Building materials based on phosphogypsum]. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta: Vysokie tehnologii. Jekologija*, 2017, no 1. pp. 65-70.
4. Mamataliyev A.A., Namazov Sh.S. Nitrogen-sulphur containing fertilizers based on ammonium nitrate, ammonium sulphate and phosphogypsum and their commodity. *European Research*, 2017, no 8 (31). pp. 8-9.
5. Meshherjakov Ju.G., Fedorov S.V. Promyshlennaja pererabotka fosfogipsa [Industrial processing of phosphogypsum]. Saint Petersburg, Strojizdat, 2007, 104 p.
6. Arzamascev S.V. Zakonomernosti tehnologii bazal'to- i fosfogipsonapolnennyh polimernyh kompozicionnyh materialov [Patterns technology basalt and phospholipomannan polymer composite materials]. Doktor 's degree dissertation. Saratov, 2011, 337 p.
7. Iglenkova M.G. Fiziko-himicheskie zakonomernosti poluchenija kompozicionnyh materialov na osnove fosfogipsa [Physico-chemical regularities of obtaining of composite materials based on phosphogypsum]. Ph.D. thesis. Saratov, 2013, 170 p.
8. Jashin S.O. Tehnologija i svojstva modificirovannyh fosfogipsom bitumomineral'nyh kompozicij [Technology and properties of modified phosphogypsum bitumomineraljnykh songs]. Ph.D. thesis. Rostov-na-Donu, 2013, 152 p.
9. Il'in A.P., Kochetkov S.P., Bryl' S.V., Ruhlin G.V. Problemy i perspektivy ispol'zovanija vtorichnyh produktov pererabotki prirodnih fosfatov dlja poluchenija stroitel'nyh materialov [Problems and prospects of

usage of secondary products of processing of natural phosphates for construction materials]. *Jekologija i stroitel'stvo*, 2016, no 4, pp. 21-29.

10. Saғындықов А., Тамабекова С.М., Турмаһамбетова А.Б., Abutalipov E.A. Fosfogips-gipsovyje-razrabotka sostava polimernyh suhix stroitel'nyh smesej v sisteme prilozhenija [Phosphogypsum is the gypsum-development of polymer composition of dry building mixtures in the system app]. *Mehanika i tehnologii*, 2016, no 3 (53), pp. 120-124.

11. Bagdasarov A. S., Urusov D. A. Racionalizacija sostava syr'evoj smesi dlja proizvodstva stroitel'nyh izdelij iz fosfogipsa [Rationalization of the composition of the raw mix for the production of building materials from phosphogypsum]. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja*, 2014, no 2. pp. 96-98.

12. Vinnichenko V.I., Kostjuk T.A., Mokrenko N.N., Ivashhenko T.G. Stroitel'nye materialy na osnove fosfogipsa [Building materials based on phosphogypsum], *Suhie stroitel'nye smesi*. 2014. № 3. pp. 18-19.

13. Fursov S. G. Osnovnye napravlenija v oblasti issledovanij ukreplennyh gruntov [The main directions of research in the field of reinforced soil]. *Nauchnye issledovanija i razrabotki*. 2006, pp. 22-23.

14. Avtomobil'nye dorogi i mosty. Stroitel'stvo konstruktivnyh sloev dorozhnyh odezhd iz gruntov, ukreplennyh vjazhushhimi materialami. Obzornaja informacija [Roads and bridges. Construction of structural layers of pavement of the soil, fortified astringent materials. Overview], vol. 3. FGUP "Informavtodor", no 2007.

15. RosdorNII. Rukovodstvo po gruntam i materialam, ukreplennym organicheskimi vjazhushhimi [Guide to soils and materials, reinforced with organic binders.]. FGUP "Informavtodor", no 2003.

16. Prokopec V. S. Povyshenie jeffektivnosti dorozhno-stroitel'nyh materialov mehanoaktivacionnym modifizirovaniem ishodnogo syr'ja [Improving the efficiency of road construction materials by mechanical alloying modification of raw materials]. Doktor 's degree dissertation. Omsk, 2005, 341 p.

17. Golubeva E.A. Regulirovanie svojstv dorozhnogo cementogrunta metodom modifizirovanija polimernymi dobavkami [Regulation of the properties of road cementownia method of modifying polymer additives]. Ph.D. thesis. Ulan-Udje, 2009, 228 p.

Получено 22.11.2017

Об авторах

Кочетков Андрей Викторович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77); профессор кафедры «Автомобили и технологические машины», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: soni.81@mail.ru); председатель Поволжского отделения РАТ, член президиума РАТ, главный эксперт ФАУ «РОСДОРНИИ» (г. Москва).

Янковский Леонид Вацлавович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и технологические машины», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: yanekperm@yandex.ru).

About the authors

Andrei V. Kochetkov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (77, Polytechnic st., Saratov, 410054, Russian Federation); Professor, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: soni.81@mail.ru); Chairman of the Povolzhsky Branch of the Russian Academy of Sciences, Member of the Presidium of the Russian Academy of Sciences, Chief Expert of the Federal Antimonopoly Service “ROSDORNII” (Moscow).

Leonid V. Yankovsky (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: yanekperm@yandex.ru).