

РАЗДЕЛ III

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 625.73

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ УЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАСЧЕТАХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ПРОЧНОСТЬ

А.Ю. Баженова, А.В. Смирнов
ФГБОУ ВО СиБАДИ, Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье рассмотрены предпосылки к единому методу расчета конструкций дорожных одежд автомобильных дорог на прочность при возбуждении в них динамических процессов от подвижной транспортной нагрузки. Показана необходимость учета этих процессов в расчетах дорожных одежд по десяти параметрам и показателям. Это обстоятельство усложняет динамический расчет по параметрам и показателям, однако привносит в него высокую степень достоверности развития динамического процесса в каждом слое многослойной конструкции дорожной одежды. Достоверность достигается расчетом параметров и показателей во времени с шагом от 0,1 до 0,001 с времени действия нагрузки.

Ключевые слова: жесткость битума, вязкость, динамический прогиб дорожной одежды, скорость и ускорения колебаний, частота.

Введение

Динамические процессы представляют собой быстро меняющиеся во времени поля напряжений и деформаций при кратковременном или ударном нагружении слоистой конструкции дорожной одежды проезжей части автомобильных дорог подвижной вертикальной нагрузкой от транспортных средств.

Проявление динамических процессов сопровождается формированием продольной волны сжимающих напряжений, проникающей во все слои дорожной одежды с постепенным затуханием и порождающей поперечные волны расширения (сдвига). Эти волны порождают вертикальные и горизонтальные перемещения в слоях дорожной одежды и на поверхности проявляются в нестационарном колебательном процессе [1].

Впервые актуальность проблемы учета динамических процессов, возникающих в дорогах от подвижной вертикальной нагрузки, была установлена Ю.М. Яковлевым [1] и А.В. Смирновым [2] путем экспериментальной регистрации колебаний конструкций дорожной одежды при действии ударных и подвижных нагрузок.

Ю.М. Яковлевым показано, что, при скорости движения подвижных нагрузок более 55 км/ч и времени ударного нагружения

нежестких дорожных одежд 0,022 с и менее, дорожная одежда становится упругой.

А.В. Смирновым установлен упругий колебательный волнообразный процесс в конструкциях дорожных одежд при воздействии подвижной нагрузки от транспортных средств при скорости 40 км/ч и более. Неоднократно экспериментально подтверждали упругий характер работы слоистых асфальтобетонных и цементобетонных покрытий М. Slachta [3], Günther Baum [4], L.W. Ewers [5], Dr. H. Just [6] при воздействии ударных и подвижных нагрузок.

Предпосылки к учету динамических процессов

Наиболее распространенные в РФ асфальтобетонные покрытия и основания дорог склонны проявлять упруго-вязкие свойства, в зависимости от температуры битумных пленок в асфальтобетоне и времени их нагружения. Фундаментальность этих свойств показана исследованиями Ван дер Поля [7].

Позднее Б.С. Радовский и Б.Б. Телтаев оценили роль вязкости и упругости в общей деформативности асфальтовых бетонов, а Приварников А.К. и Радовский Б.С. [8] создали схему расчета вязко-упругого многослойного основания при действии подвижной нагрузки.

Типичная зависимость упругих и вязких свойств асфальтобетона приведена на рисунке 1 при температуре 15° С. При малом времени действия постоянных напряжений и $t \rightarrow 0$ модуль жесткости обращается в мгновенный модуль упругости. При $t \rightarrow \infty$, то есть с увеличением времени действия напряжений, возрастает вклад вязкого (ньютоновского) течения в деформацию и модуль упругости существенно уменьшается. Область, ограниченная кривой рисунка 1 и двумя касательными к ней (пунктирные линии) есть область комплексного модуля упругости. Все точки на горизонтальной касательной и выше ее – это значения мгновенного модуля упругости. Испытания асфальтобетонов при времени действия напряжений до 0,02 с, выполненные Р. Герике [9] на пульсаторе на асфальтобетонных балочках, Р. Pilz [9] для

трех типов асфальтобетонов, а также Ю.М. Яковлевым [1] ударной нагрузкой, показали, что результаты определения модуля упругости располагаются на горизонтальной касательной (см. рис. 1) и относятся к мгновенным, без существенного влияния вязкости асфальтовых бетонов. Таким образом, учет динамических процессов вполне корректно производить, рассматривая слоистую среду как упругую.

Дополнительным убедительным доказательством работы дорожных одежд нежесткого типа как упругих слоистых систем при действии динамических нагрузок являются исследования Е.В. Угловой и А.Н. Тиратуряна [10], показавшие исключительно упругий динамический прогиб на поверхности асфальтобетонных покрытий в 2 раза меньший прогиба от статического действия нагрузки.

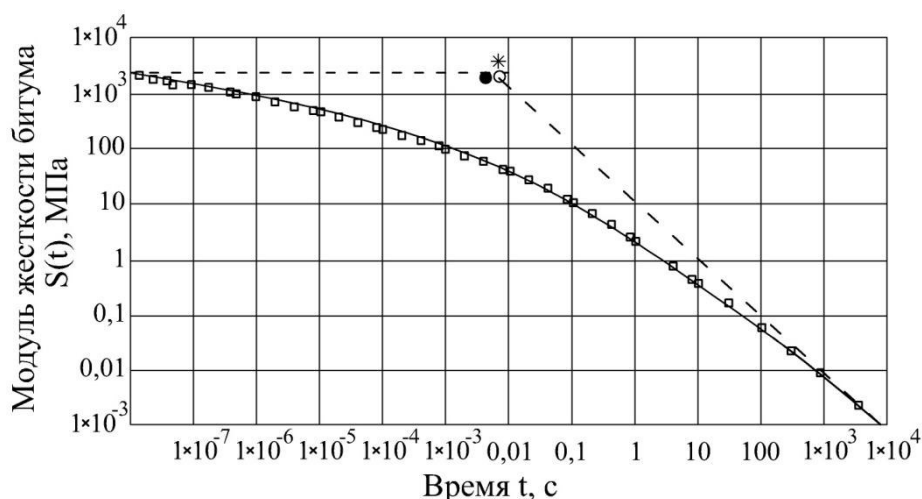


Рис. 1. Типичная зависимость модуля жесткости вязкого битума от времени при постоянной температуре: точки – данные Ван дер Поля; штриховыми линиями показаны горизонтальная (упругая) и наклонная (вязкая) асимптомы кривой

○ – по Ю.М. Яковлеву; * – по Р. Герике (песч. а/бетон);

● – Р. Pilz (асф. бетоны)

Современный аппарат по расчету дорожных одежд на прочность при воздействии на них статических (неподвижных) вертикальных нагрузок основан на теории упругости [11]. Этот аппарат не позволяет в полной мере учесть динамические процессы, возникающие в конструкциях от воздействия подвижных нагрузок.

Проблема учета динамических процессов в слоистых конструкциях дорожных одежд при их расчетах на прочность усугубляется недостаточным значением фактических модулей упругости слоев, существенно отличающихся от нормативных, что ведет в

расчетах к явному занижению толщин слоев конструкций. Получаются эти расхождения из-за определения модулей деформаций по различным методикам и закрепленных в так называемых «нормативных методах» [11]. Доля истинно-упругих свойств дорожно-строительных материалов (модуль упругости E_u) в их деформативности существенно меньше «нормируемых» модулей деформаций. Поэтому вопрос правильного назначения в расчетах дорожных одежд модулей упругости есть часть проблемы учета динамических процессов, возбуждаемых в них подвижными нагрузками.

Между тем, динамические процессы характеризуются рядом показателей и параметров колебаний [12]. Применительно к плоским слоистым упругим конструкциям дорожных одежд этот ряд состоит из:

- 1) динамического прогиба поверхности – $U_{\text{дин}}$;
- 2) динамического прогиба слоя – $U_{\text{дин},j}$;
- 3) напряжений вертикального сжатия слоя –

$$\sigma_{\text{дин},j}^{\text{сж}};$$

- 4) импульса напряжений сжатия –

$$J_m = \int_0^t \sigma_{\text{дин},j}^{\text{сж}} \cdot dt;$$

- 5) импульса внешней удельной нагрузки –

$$J_m = \int_0^{T_0} q \cdot dt;$$

- 6) скорости вертикальных колебаний

конструкции и слоев – $\frac{dU_{\text{дин}}}{dt}, \frac{dU_{\text{дин},j}}{dt}$;

- 7) ускорение вертикальных колебаний –

$$\frac{d^2 U_{\text{дин}}}{dt^2};$$

- 8) частоты вертикальных колебаний – ν ;

- 9) динамических напряжений растяжения-

сжатия в слоях – $\sigma_{\text{дин},j}^r = \frac{E \cdot h}{2R} \sqrt{2}$;

- 10) параметра затухания колебаний

(декремента) – $D = \frac{\ln \frac{U_i}{U_{\text{дин}}}}{t}$.

Исходными предпосылками к характеристике динамических колебательных процессов в конструкциях дорожных одежд рядом показателей и параметров являются работы в области строительной механики пластин и плит, выполненные Блохом М.В. [13], Бляхманом Р.И. [14], Крицуком З.А. [15], Муравским Г.Б. [16], Найвельтом В.В. [17], Николаенко Н.А. [18, 19] и др.

Описанию ударных волн в упругих средах, закономерностей распространения и затухания сейсмических колебаний, а также отражения и преломления от границ раздела посвящены работы Броберка К.Б. [20], Гуревича Г.И. [21, 22], Зволинского Н.В. [23, 24, 25] и Огурцова К.И. [26]. Поверхностные волны при соударении упругих тел показаны в работах Кильчевского Н.А. [27]. Общая теория устойчивости и колебаний упругих систем изложена в работах Пановко Я.Г. [28] и Филиппова А.П. [29].

Извлечения из перечисленных работ полезных и достоверных результатов для получения десяти параметров и показателей динамических процессов в многослойных конструкциях дорожных одежд не представляется возможным по следующим причинам:

1. Работы [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20] дают возможность определить только первую и вторую характеристики динамического процесса и только для двухслойной дорожной конструкции.

2. Модели деформирования нижнего слоя двухслойной конструкции приняты как модели «местных» деформаций (коэффициент Постели) и реже как упругое полупространство.

3. В дифференциальных уравнениях колебаний двухслойной среды вышеперечисленных работ по-разному учитывается вязкость и инерционность двух соседних слоев.

Вместе с этим из работ в области геофизики [21, 22, 23, 24, 25, 26] следуют полезные рекомендации по распространению, отражению, преломлению и затуханию волн напряжений.

Выводы

Таким образом, из изложенного следует необходимость создания теории динамического напряженно-деформированного состояния слоистых дорожных конструкций при воздействии на них подвижных нагрузок. Из нее следуют практические рекомендации по учету динамических процессов в конструкциях дорожной одежды автомобильных дорог. Практически разработка теории динамического деформирования дорожных конструкций начата трудами Е.В. Угловой в РГСУ, Смирнова А.В. [30], Осинской В.В. [31] в МГТУ-МАДИ. Работают в этом направлении Колмогоров Г.Л. с учениками в Пермском национальном исследовательском политехническом университете [32, 33].

Авторами рассмотрен процесс свободных затухающих колебаний, возникающих в дорожной одежде от движущихся транспортных средств. Для описания свойств материалов использована вязкоупругая модель Фойгта. С помощью метода конечных разностей построены рекуррентные определяющие соотношения. Представлена графическая информация по результатам вычислительного эксперимента. Показано влияние физико-механических свойств материалов на характеристики колебательного процесса.

Проблема учета динамических процессов в расчетах дорожных одежд автомобильных дорог на прочность распространяется на автомагистрали и скоростные дороги (дороги I а, б категорий), затяжные перегоны II и III категорий при скоростях движения транспортных потоков 100, 80 и 60 км/ч. Нет оснований для подобного учета на дорогах IV и V категорий без капитальных дорожных конструкций, а также на городских дорогах при скоростях 40 км/ч, в местах остановок, стоянок и регулируемых перекрестках улиц.

Итак, проблема учета динамических процессов в расчетах дорожных одежд автомобильных дорог на прочность сводится к применению динамических задач многослойной среды, изложенных в [34], и количественно оценивается величиной коэффициента прочности. Для обеспечения заданной надежности (обеспеченности по прочности) коэффициент прочности проектируемой конструкции по каждому из расчетных критериев не должен быть ниже минимального требуемого значения.

Библиографический список

1. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд / под ред. Н.Н. Иванова. – М.: Транспорт, 1973. – 328 с.
2. Смирнов, А.В. Экспериментальные исследования волн колебаний дорожных покрытий при движении автомобиля / А.В. Смирнов, А.Г. Малофеев // Прикладная механика / Академия наук УССР. – 1973. – Т. IX, вып. 1. – С. 129-134.
3. Slachta M. La dynamique des chaussées en beton de ciment / M. Slachta // Bull. lieis, Lab. ponts et chaussées» (ex «Bull. liaus. Lab. rout, ponts et chaussées»). – 1971. – N 50.
4. Günther Baum (dr. rer. nat.) Zur Formänderungsanalyse der Straßenbefestigungen: Ein Beitrag zur dynamischen Beanspruchung der Tragschichtenunterlage ein Beziehung zur Informationsinhalt des dynamischen Tragwertes Evd / Günther Baum // Straße und Autobahn. – 1970. – N 7.
5. Ewers, L. W. Die Messung des Verhaltens von Asphaltstraßen unter rollendem Verkehr / L.W. Ewers, A. G Lucas, P. Sommer // Strasse und Autobahn. – 1966. – N 7 (17). – S. 248-255.
6. Iust, H. (dr.) Ergebnisse von dynamischen Messungen an vorhandenen Straßenbefestigungen / H. Iust, K. Hammerschmidt (ing.) // Die Straße. – 1968. – N 10. – S. 505-510.
7. Радовский, Б.С. Вязкоупругие характеристики битума и их оценка по стандартным показателям / Б.С. Радовский, Б.Б. Телтаев. – Алматы: Білім баспасы, 2013. – 152 с.
8. Приварников, А.К. Действие подвижной нагрузки на вязко-упругое многослойное основание / А.К. Приварников, Б.С. Радовский // Прикладная механика. – 1981. – Т.17, № 6. – С. 45-52.

9. Смирнов, А.В. Динамика дорожных одежд автомобильных дорог / А.В. Смирнов. – Омск: Запсибиздат, 1975. – 182 с.
10. Углова, Е.В. Оценка прочности нежестких дорожных одежд [Электронный ресурс] / Е.В. Углова, А.Н. Тиратурян // Дорожная держава. – 2014. – № 57 – Режим доступа: <http://www.dorvest.ru/dd/archiv/item/57-2014>. (дата обращения – 27.05.2016).
11. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд (взамен ВСН 46-83). – М.: Союздорнии. – 2001. – 93 с.
12. Справочник по динамике сооружений / под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1972. – 511 с.
13. Блох, М.В. Неустановившиеся колебания бесконечной пластинки на упругом инерционном полупространстве / М. В. Блох // Исследования по теории сооружений: сб. статей. – М.: Стройиздат, 1968. – Вып. XVI. – С. 134-141.
14. Бляхман, Р.И. О колебаниях бесконечной пластинки, лежащей на упругом полупространстве, под действием движущейся нагрузки в условиях плоской задачи / Р.И. Бляхман // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1967. – № 2. – С. 43-46.
15. Крицук, З.А. Колебания плиты, лежащей на упругом с последствием основании, с учетом массы подвижной нагрузки / З.А. Крицук // Теория оболочек и пластин: Труды IV Всесоюз. конф. по теории оболочек и пластин. Ереван, 24-31 окт. 1962 г. / Акад. наук Арм. ССР, Ин-т математики и механики; [Отв. ред. С.М. Дургарян]. – Ереван, 1964. – С. 180-187.
16. Муравский, Т.Б. Неустановившиеся колебания бесконечной плиты, лежащей на упругом основании, при действии подвижной нагрузки / Т.Б. Муравский // Труды МНИТ. – М., 1964. – Вып. 193. – С. 166-171.
17. Найвельт, В.В. Действие подвижной нагрузки на бесконечную плиту, лежащую на упругом основании / В.В. Найвельт // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1967. – № 5. – С. 161-169.
18. Николаенко, Н.А. Удар по пластинке, лежащей на упругом основании // Исследования по динамике сооружений / Н.А. Николаенко: сб. / ЦНИИСК. – М.: Госстройиздат, 1961. – Вып. 1. – С. 27-38.
19. Николаенко, Н.А. Колебания неограниченной плиты, лежащей на упругом полупространстве и упругом слое / Н.А. Николаенко // Вопросы расчета плит на упругом основании: сб. – М.: Госстройиздат, 1958. – С. 63-120.
20. Броберг, К.Б. Ударные волны в упругой и упругопластической среде / К.Б. Броберг. – М.: Мир. – 1959. – 115 с.
21. Гуревич, Г.И. Об основной закономерности распространения и затухания сейсмических колебаний / Г.И. Гуревич // Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1962. – Т. 6. – С. 124-146.

22. Гуревич, Г.И. Об основной закономерности распространения и затухания сейсмических колебаний / Г.И. Гуревич // Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. – Т. 7. – С. 36-60.

23. Зволинский, Н.В. Отражение и преломление плоской пластической волны при наличии граничной плоскости / Н.В. Зволинский // Прикладная математика и механика. – 1967. – Т. 31. – С. 848-860.

24. Зволинский, Н.В. Отражение плоской пластической волны и преломление ее на границе двух полупространств / Н.В. Зволинский, Г.В. Рыков // Прикладная математика и механика. – 1965. – Т. 29. – С. 672-680.

25. Зволинский, Н.В. Распространение осесимметричной упругой волны в толстой плите / Н.В. Зволинский // Вестник трудов военно-инженерной академии. – 1959. – Вып. 144. – С.182.

26. Огурцов, К.И. Оценка интенсивностей сейсмических волн, отразившихся от очень слабых границ раздела / К.И. Огурцов // Известия АН СССР. Серия геофизическая. – 1960. – № 10. – С. 1426-1431.

27. Кильчевский, Н.А. О поверхностных волнах, возникающих при соударении упругих тел / Н.А. Кильчевский, Д.И. Ильчишина // Прикладная механика. – 1969. – Т. V, вып. 7. – С. 3-7.

28. Пановко, Я.Г. Устойчивость и колебания упругих систем. Современные концепции, парадоксы и ошибки / Я.Г. Пановко, И.И. Губанова. – 4-е изд., перераб. – М.: Наука, 1987. – 352 с.

29. Филиппов, А.П. Колебания деформируемых систем / А. П. Филиппов. – 2-е изд. перераб и доп. – М.: Машиностроение, 1970. – 734 с.

30. Смирнов, А.В. Динамическая устойчивость и расчет дорожных конструкций / А.В. Смирнов, С.К. Илиополов, А.С. Александров. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2003. – 188 с.

31. Осинская, В.А. Моделирование частотного спектра колебаний дорожной конструкции автомобильной дороги / В.А. Осинская // Вестник МАДИ. – 2013. – № 4 (35). – С.72-77.

32. Колмогоров, Г.Л. Интеллектуализация вибродиагностической лаборатории автомобильных дорог / Г.Л. Колмогоров, В.И. Кычкин, И.А. Есипенко // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 1. – С. 69-77.

33. Колмогоров, Г.Л. Метод конечных разностей в исследовании дорожных одежд при воздействии реальной транспортной нагрузки / Г.Л. Колмогоров, В.И. Кычкин, И.А. Есипенко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, – 2014. – № 1. – С. 69-77.

34. Андреева, Е.В. Современные методы проектирования дорожных конструкций автомагистралей на воздействие транспортных потоков: монография / Е.В. Андреева, А.В. Смирнов. – Омск: СибАДИ, 2014. – 136 с.

THE CURRENT STATE OF CONSIDERING DYNAMIC PROCESSES IN CALCULATIONS OF MOTOR ROAD PAVEMENT STRENGTH

A.Y. Bazhenova, A.V. Smirnov

Abstract. Background of a single method for motor road pavement structural strength calculations when dynamic processes are being excited by traffic live load is considered in the article. The necessity of ten parameters and indices to be considered in calculations of pavements is shown. In this case the dynamic analysis becomes more complex but the data on dynamic processes in each layer of a multilayer pavement structure turns to be more adequate. The adequacy is obtained by determining parameters and indices in the process of load application, with the time step being from 0.1 to 0.001 from the beginning of loading.

Keywords: hardness of bitumen, viscosity, dynamic deflection of pavements, speed and acceleration of vibrations, frequency.

References

1. *Konstruirovaniye i raschet nezhestkih dorozhnykh odezhd* [Design and calculation of flexible pavements]. Pod. red. N.N. Ivanova. Moscow, Transport, 1973. 328 p.

2. Smirnov A.V., Malofeev A.G. *Jeksperimental'noye issledovanie voln kolebaniy dorozhnykh pokrytij pri dvizhenii avtomobilja* [Experimental analysis of pavement oscillations produced by a moving vehicle]. Prikladnaja mehanika. Kiev, 1973. pp. 50-52

3. Slachta M. La dynamique des chaussées en beton de ciment, «Bull. lies, Lab. ponts et chaussées» (ex «Bull. liaus. Lab. rout, ponts et chaussées»), 1971, № 50.

4. Von Dr. rer. nat. Günther Baum. Zur Formänderungsanalyse der Straßenbefestigungen: Ein Beitrag zur dynamischen Beanspruchung der Tragschichtenunterlage ein Beziehung zur Informationsinhalt des dynamischen Tragwertes Evt. Straße und Autobahn 7/1970.

5. Ewers L.W., Lucas A. G., Sommer P. Die Messung des Verhaltens von Asphaltstraßen unter rollendem Verkehr. «Strasse und Autobahn», № 7, 1966, 17, 248-255.

6. Dr. H. lust, Ing K. Hammerschmidt. «Ergebnisse von dynamischen Messungen an vorhandenen Straßenbefestigungen». Die Straße 10, 1968: S. 505-510.

7. Radovskiy, B.S., Teltayev, B.B. *Vjazkouprugie harakteristiki bituma i ih ocenka po standartnym pokazateljam*. [Viscoelastic properties of asphalt and their standard measure estimation]. B.S Radovskiy, B.B. Teltayev. – Almaty, Bilim, 2013. 152 p.

8. Privarnikov A.K., Radovskij B.S. *Dejstvie podvizhnoj nagruzki na vjazko-uprugoe mnogoslojnoe osnovanie* [Live load affects on the viscoelastic multilayer foundation]. *Prikladnaja mehanika*, - Киев. 1981, no 6. pp. 45 – 52.

9. Smirnov A.V. *Dinamika dorozhnyh odezhd avtomobil'nyh dorog* [Dynamics of automobile road pavements]. Omsk: Zap.Sib. Izd-vo, 1975. 182 p.
10. Uglova E.V., Tiraturjan A.N. Ocenka prochnosti nezhestkih dorozhnyh odezhd [Evaluation of flexible road pavements strength]. *Dorozhnaja derzhava*. – 2014. – № 57. Available at: <http://www.dorvest.ru/dd/archiv/item/57-2014>. – accessed : 27.05.2016.
11. ODN 218.046-01. Proektirovanie nezhestkih dorozhnyh odezhd [Design of Flexible Road Pavements]. Moscow, Informavtodor, 2001. 145 p.
12. *Spravochnik po dinamike sooruzhenij* [Handbook of structural dynamics]. Pod red. B.G. Koreneva, I.M. Rabinovicha. M., Strojizdat, 1972. 512 p.
13. Bloh M.V. Neustanovivshiesja kolebanija beskonechnoj plastinki na uprugom inercionnom poluprostranstve [Unsteady oscillations of the infinite plate on the elastic inertial half-space]. – Sb. «Issledovaniya po teorii sooruzhenij». Vyp. XVI. Strojizdat. Moscow, 1968. pp. 134-141.
14. Bljahman R.I. O kolebanijah beskonechnoj plastinki, lezhashhej na uprugom poluprostranstve, pod dejstviem dvizhushhejsja nagruzki v uslovijah ploskoj zadachi [About oscillations of the infinite plate on the elastic half-space and under the movable load in the context of the plane problem]. *Izvestija vuzov*, 1967. no 2. p. 43-46.
15. Kricuk S.A. Kolebanija plity, lezhashhej na uprugom s posledejstviem osnovanii, s uchetom massy podvizhnoj nagruzki [Vibration of the slab being laid on the elastic-hereditary foundation, with the moving load weight taken into account]. *Trudy IV Vsesojuznoj konferencii po teorii obolochek i plastin*. Erevan, 1964. pp. 180-187.
16. Muravskij G.B. Neustanovivshiesja kolebanija beskonechnoj plity, lezhashhej na uprugom osnovanii, pri dejstvii podvizhnoj nagruzki [Unsteady oscillations of the infinite plate on the elastic foundation under the moving load]. *Trudy MIITA*, no 193. Moscow. 1964. pp. 166-171.
17. Najvel't V.V. Dejstvie podvizhnoj nagruzki na beskonechnuju plitu, lezhashhuju na uprugom osnovanii [Moving load effect on the infinite plate on elastic foundation]. *Izvestija vuzov*. № 5, 1967. pp. 161-169.
18. Nikolaenko N.A. Udar po plastinke, lezhashhej na uprugom osnovanii [Load impact on the plate on elastic foundation]. – Sb. *Issledovaniya po dinamike sooruzhenij*. CNIISK. Vyp. 1. Moscow, Gosstrojizdat, 1961. pp. 27-38.
19. Nikolaenko N.A. Kolebanija neogranichennoj plity, lezhashhej na uprugom poluprostranstve i uprugom sloe [Vibrations of an infinite slab on elastic half-space and elastic layer]. Sb. *Voprosy rascheta plit na uprugom osnovanii*. Moscow. Gosstrojizdat, 1968. pp. 63-120.
20. Roberk K.B. Udarnye volny v uprugoj i uprugoplasticheskoj srede [Shock waves in elastic and elastoplastic medium]. Moscow, 1959. 115 p.
21. Gurevich G.I. Ob osnovnoj zakonomernosti rasprostraneniya i zatuhaniya sejsmicheskikh kolebanij [On the main principle of seismic vibrations propagating and damping]. Sb. *Voprosy dinamicheskoy teorii rasprostraneniya sejsmicheskikh voln*. Pod. red. G.I. Petrashenja. Vyp. VI, 1962; Izd. LGU. pp. 124-146.
22. Gurevich G.I. Ob osnovnoj zakonomernosti rasprostraneniya i zatuhaniya sejsmicheskikh kolebanij [On the main principle of seismic vibrations propagating and damping]. Sb. *Voprosy dinamicheskoy teorii rasprostraneniya sejsmicheskikh voln*. Pod. red. G.I. Petrashenja. 1964. Vyp. VII, Izd. LGU. pp. 36-60.
23. Zvolinskij N.V. Otrazhenie i prelomlenie ploskoj plasticheskoy volny pri nalichii granichnoj ploskosti [Plane plastic wave reflection and refraction when there is a boundary plane]. *Prikladnaja matematika i mehanika*. Tom 31, 1967. pp. 848-860.
24. Zvolinskij N.V., Rykov G.V. Otrazhenie ploskoj plasticheskoy volny i prelomlenie ee na granice dvuh poluprostranstv [Plane plastic wave reflection and its refraction at the border of two half-spaces]. *Prikladnaja matematika i mehanika*. Tom 29, 1965. pp. 672-680.
25. Zvolinskij N.V. Rasprostranenie osesimmetrichnoj uprugoj volny v tolstoj plite [Axially symmetrical elastic wave propagation in a thick plate]. *Vestnik trudov Akademii*. Vyp. 144, 1959. p.182.
26. Ogurcov K.I. Ocenka intensivnostej sejsmicheskikh voln, otrazivshijsja ot ochen' slabych granic razdela [Estimating the intensity of seismic waves reflected from very weak interfaces]. *Izvestija AN SSSR. Serija geofizicheskaja*, №10, 1960. pp. 1426-1431.
27. Kil'chevskij N.A., Il'chishina D.I. O poverhnostnyh volnah, voznikajushchih pri soudarenii uprugih tel [On the surface waves initiated due to the collision of elastic bodies]. *Prikladnaja mehanika*. Tom V, vyp. 7, 1969. 3-7.
28. Panovko Ja.G., Gubanov I.I. Ustojchivost' i kolebanija uprugih sistem [Elastic system stability and oscillation. Modern concepts, paradoxes and errors.]. *Nauka*, Moscow, 1967. 352 p.
29. Filippov A.P. Kolebanija deformiruemykh sistem [Oscillations of deformable systems]. *Mashinostroyenie*, Moscow, 1970. 734 p.
30. Smirnov A.V., Iliopolov S.K., Aleksandrov A.S. *Dinamicheskaja ustojchivost' i raschet dorozhnyh konstrukcij* [Dynamic stability and calculation of road constructions]. Omsk: Izd-vo SibADI, 2003. 188 p.
31. Osinovskaya V. A. Modelirovanie chastotnogo spektra kolebanij dorozhnoi konstruktsii avtomobil'noi dorogi [Modeling the frequency vibration spectrum of the automobile road structure]. *Vestnik MADI*, 2013, no 4 (35). pp.72-77.
32. Kolmogorov G.L., Kychkin V.I., Esipenko I.A. Intellektualizacija vibrodiagnosticheskoy laboratorii avtomobil'nyh dorog [Intellectualization of the vibrodiagnostic road laboratory]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Ohrana okruzhajushhej sredy, transport, bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2013, no 1. pp. 69-77.

33. Kolmogorov G.L., Kychkin V.I., Esipenko I.A. Metod konechnykh raznostej v issledovanii dorozhnyh odezhd pri vozdejstvii real'noj transportnoj nagruzki [Method of finite differences in the study of pavements under the actual traffic load]. *Stroitel'naja mehanika inzhenernykh konstrukcij i sooruzhenij*, 2014, no 1. pp. 69-77.

34. Andreeva E.V., Smirnov A.V. *Sovremennye metody proektirovanija dorozhnykh konstrukcij avtomagistralej na vozdejstvie transportnyh potokov* [Modern methods for designing highway structures under the impact of traffic flows]. Omsk, SibADI, 2014. 135 p.

Баженова Алена Юрьевна (Россия, г. Омск) – инженер кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» ФГБОУ ВО СиБАДИ (644080, г. Омск, ул. Мира, 5, e-mail: kaf_sed@sibadi.org).

Смирнов Александр Владимирович (Россия, г. Омск) – Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» ФГБОУ ВО СиБАДИ (644080, г. Омск, ул. Мира, 5, e-mail: smirnov_av@sibadi.org).

Bazhenova Alyona Yurjevna (Russian Federation, Omsk) – Engineer of the Road Building and Maintenance Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, pr. Mira 5, e-mail: kaf_sed@sibadi.org).

Smirnov Aleksandr Vladimirovich (Russian Federation, Omsk) – Honored Scientist of the Russian Federation, doctor of technical science, Professor of the Road Building and Maintenance Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, pr. Mira 5, e-mail: smirnov_av@sibadi.org).

УДК. 625.7/.8

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ КОМПЛЕКТОВ МАШИН ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА ПЕРЕХОДЯЩИХ ОБЪЕКТАХ

Т.В. Боброва¹, Р.Ф. Салихов¹, М.Г. Груснев²

¹ФГБОУ ВО «СиБАДИ», Россия, г. Омск.

²«ОМО им. П.И. Баранова» АО «НПЦ газотурбостроения «САЛЮТ», Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье рассмотрена методика управления составом специализированных комплектов дорожных машин (СДКМ) для производства земляных работ при строительстве дорог значительной протяженности (50 и более км) в сложных природных условиях в течение ряда лет. Распределение объемов работ на переходящем объекте в соответствии с календарным графиком в проекте организации строительства предусматривает прогнозирование наработки задействованных машин, их технико-экономических показателей в каждый год строительства. Предложенные модели обеспечивают рациональную корректировку составов СДКМ и позволяют в соответствии с прогнозируемыми показателями вносить изменения в структуру парка машин в проектах производства работ.

Ключевые слова: комплекты машин, схема управления структурой парка, математическая модель, эксплуатация машин, технико-экономические показатели использования машин.

Введение

Строительство автомобильных дорог в условиях Сибирского региона характеризуется сложными природно-климатическими условиями, неравномерным распределением объемов и видов земляных работ по длине дороги, значительной продолжительностью строительства (в течение нескольких лет при строительстве крупных магистралей), применением типовых и уникальных технологий.

Выполнение дорожно-строительных работ, как правило, начинается силами подрядных организаций с уже сформированными парками техники. Учитывая особенности объектов, машинные парк приспосабливают к меняющимся условиям строительства. Изменение структуры парка часто обусловлено разновозрастным и нерегулярно обновляемым составом парка средств механизации, эксплуатацией машин с превышенным сроком службы,