

УДК 624.131.137

## ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИИ НА ОСНОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА СКЛОНЕ

Юшков Б.С., Сергеев А.С.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, e-mail: Zzverdvd@mail.ru*

Проблема разрушения дорожных конструкций раньше предусмотренного проектом срока с каждым годом становится все более и более актуальной. Существующая расчетная база, созданная на основе многолетнего научного труда поколений ученых-дорожников, позволяет достаточно точно описывать поведение дорожной конструкции в эксплуатации. Однако существующие расчетные модели не позволяют учесть влияние динамических процессов, формируемые в дорожной одежде нежесткого типа после проезда каждого автомобиля, на прочность всей конструкции. Колебательный процесс, возникающий в нежесткой дорожной одежде как результат взаимодействия автомобиля и дорожного покрытия, формирует дополнительные осадки основания автомобильной дороги на склоне. Количество этих воздействий зависит от интенсивности движения, а уровень воздействий тем выше, чем больше доля тяжёлых многоосных грузовых автомобилей в составе транспортного потока.

Ключевые слова: автомобильная дорога, вибрация, осадка, грунт, виброисточник, график, основание.

## EFFECT OF VIBRATION ON THE BASIS OF THE ROAD ON THE HILLSIDE

Yushkov B.S., Sergeev A.S.

*Perm National Research Polytechnic University of Perm, e-mail: Zzverdvd@mail.ru*

The problem of the destruction of road construction project before the stipulated deadline every year becomes more and more urgent. The current design basis, based on many years of scientific work of generations of scientists, road workers, allowing enough to accurately describe the behavior of road construction in operation. However, existing calculation models do not allow to take into account the effect of the dynamic processes generated in the non-rigid type of pavement after the passage of each car, on the strength of the assembly. Oscillatory processes occurring in the non-rigid pavement as a result of the interaction of a vehicle and the road surface, forms the base of additional rainfall on the slope of the road. The number of these effects depends on the traffic, and the level of impact is higher, the greater the proportion of heavy multi-axle trucks as part of the traffic flow.

Keywords: road, vibration, sediment, soil, vibration sources, schedule basis.

Дополнительные осадки основания автомобильных дорог, вызываемые динамическими воздействиями, в большинстве случаев ведут к негативным последствиям. Поэтому прогнозирование возможных величин осадок и изучение условий их возникновения весьма актуально.

В предлагаемой работе предпринята попытка детально изучить влияние динамических воздействий на дополнительные осадки основания на вновь возводимой федеральной автомобильной дороге Р242 Пермь-Екатеринбург.

Длина участка  $l = 150$  м, ширина проезжей части не менее 26 метров, количество полос шесть с разделительной полосой. Сейчас идет активное переустройство и расширение трассы. Ограничение скорости: от 90 до 40 км/ч. Основанием автомобильной дороги служит песок с подстилающим глинистым грунтом.

Песок имел следующие физико-механические свойства: плотность  $P$  1,54 кН/м<sup>3</sup>, плотность сухого грунта  $P_d$  1,27 г/см<sup>3</sup>, природная влажность  $W$  0,20, удельный вес частиц

грунта  $\gamma_s$  12,49 кН/м<sup>3</sup>, коэффициент пористости  $e$  1,081, плотность частиц грунта  $P_s$  2,65 г/см<sup>3</sup>, пористость  $n$  0,52, степень влажности  $Sr$  0,49, полная влагоёмкость  $W_{sat}$  0,41.

Глинистый грунт имел следующие физико-механические свойства: плотность  $P$  1,92 кН/м<sup>3</sup>, плотность сухого грунта  $P_d$  1,58 г/см<sup>3</sup>, природная влажность  $W$  0,22, удельный вес частиц грунта  $\gamma_s$  15,52 кН/м<sup>3</sup>, коэффициент пористости  $e$  0,738, плотность частиц грунта  $P_s$  2,75 г/см<sup>3</sup>, пористость  $n$  0,42, степень влажности  $Sr$  0,82, полная влагоёмкость  $W_{sat}$  0,27, предел текучести  $I_L$  0,65, влажность на границе раскатывания  $W_p$  0,11, число пластичности  $I_p$  0,17, влажность на границе текучести  $W_L$  0,28.

Источник колебаний – источник сейсмических волн вибрационного типа СВ 10/100. Рабочим элементом гидравлического вибратора является вибровозбудитель, представляющий собой массивный цилиндр, играющий роль инерционной массы, внутри которого помещен поршень, соединенный с опорной плитой источника, которая в процессе излучения колебаний прижимается внешней силой к поверхности земли. Для возбуждения поперечных волн вибровозбудитель располагается параллельно склону, обеспечивая передачу грунту касательных усилий. Амплитуда усилий, передаваемая на глинистый грунт плитой, принималась равной 100 кН. Площадь плиты 2 x 1 м. На блоке управления был выставлен линейно-частотно-модулированный сигнал, позволяющий работать при 3-частотном режиме в 20; 30; 40 Гц. Преобразование колебаний осуществлялось с помощью горизонтальных и вертикальных сейсмоприемников, устанавливаемых с интервалом в 3 м. Регистрировались колебания с помощью сеймостанции Интротрин-L2 Калипсо с интервалом записи 0,002 с. Осадки плиты вибратора и основания автомобильной дороги определяли с помощью нивелира с инварной рейкой.

Известно, что одной из важнейших особенностей волны является энергия, связанная с движением среды. При этом следует отметить, что нас интересовала не вся энергия волны, а только её часть, в окрестностях которой ведутся наблюдения, т. е. её плотность [1]. Для гармонической волны плотность энергии находится:

$$E = 2\pi^2 \rho f^2 A^2$$

где  $\rho$  – плотность глинистого грунта;  $f$  – частота колебаний;  $A$  – амплитуда смещений.

Плотность энергии по мере удаления от источника уменьшается из-за сферического расхождения и поглощения. Так как виброускорение влияет на возникновение осадок, то расчетным путем можно определить плотность энергии волны, ниже которой возникновение осадок для данного глинистого грунта становится нереальным [2]. Для нашего случая плотность энергии, при которой практически невозможно возникновение дополнительных

осадок, составляет  $4,7 - 5,24 \text{ Дж/м}^3$ .

Проведенные предварительные исследования показали, что дополнительные осадки не возникают, если расстояние от источника вибрации составляют более 17 м. Для изучения влияния вибрации на автомобильной дороге источник устанавливали как показано на рисунке 1.

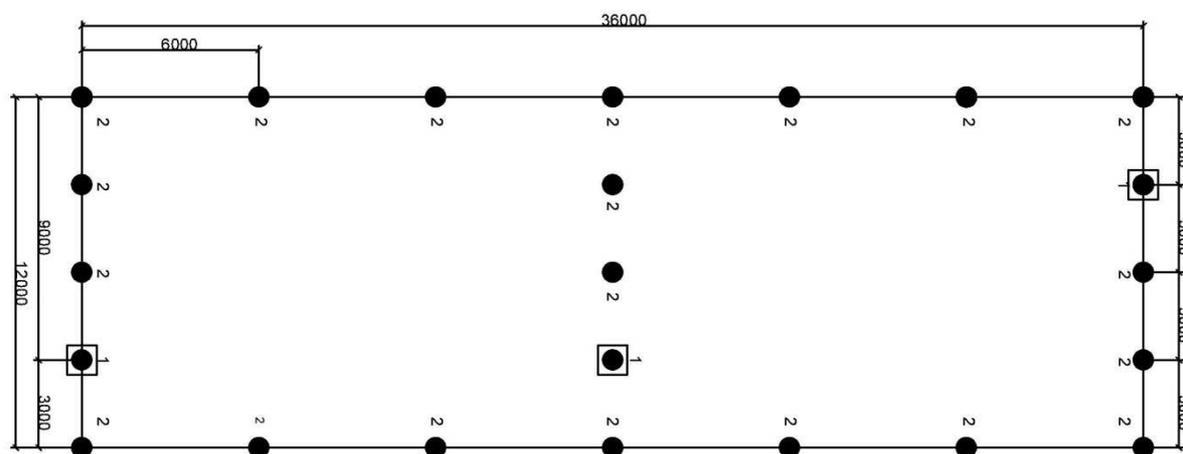


Рис. 1. Схема установки виброисточника: 1 – виброисточник; 2 – сейсмоприемники

Работа виброисточника производилась при трех режимах передаваемых на виброштамп виброскоростей  $(4,52; 3,28; 2,02) \times 10^{-4} \text{ м/с}$ . Число периодически повторяющихся воздействий штампа на основание составляла  $10 \times 10^5$  циклов [3]. Для каждого из режимов получена величина дополнительной осадки подстилающего грунта и основания автомобильной дороги (рис. 2). Осадка от статической нагрузки штампа равна  $0,0236 \text{ м}$ .

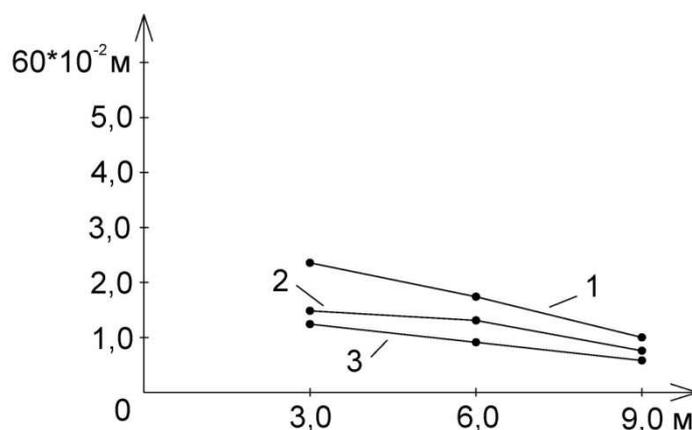


Рис. 2. Зависимость дополнительных осадок от скорости виброисточника:  
1 –  $V = 4,51 \text{ мм/с}$ ; 2 –  $V = 3,26 \text{ мм/с}$ ; 3 –  $V = 2,01 \text{ мм/с}$

Из графика на рисунке 2 следует, что дополнительные осадки основания автомобильной дороги, вызываемые динамическими воздействиями, зависят от уровня виброскоростей. Причем эта зависимость не носит линейный характер. Отмечается также, что при работе вибратора изменяются показатели плотности сложения песка, а величина виброскоростей увеличивается [4] (рис. 3).

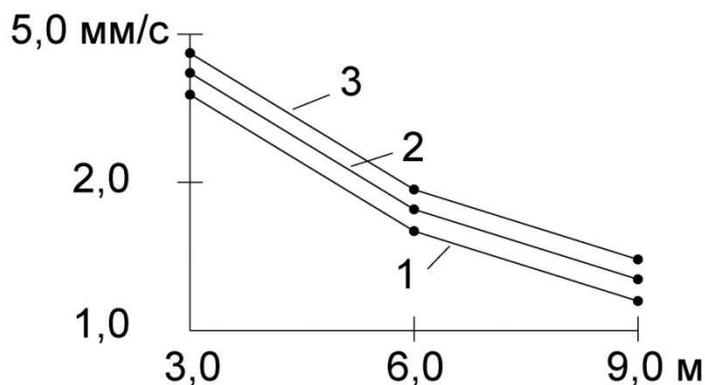


Рис. 3. Зависимость изменения виброскоростей от числа циклов колебаний: 1 – в первоначальный период; 2 – после  $5 \cdot 10^5$  циклов; 3 – после  $10 \cdot 10^5$  циклов ( $V = 4,51$  мм/с)

Песчаные основания при действии на них динамических нагрузок проявляют реологические свойства – развиваются осадки во времени. Эта закономерность выражается с помощью уравнений наследственной ползучести.

С учетом графиков осадок и построенных по ним изохронных диаграмм деформирования делается вывод о том, что ползучесть линейна. Аналитическое выражение осадки штампа, находящегося под динамическим воздействием [5], находится:

$$S_z = 0.964\alpha \left[ 1 + 0.12(10.019\alpha) \sqrt{\frac{n}{N}} \right] 10^{-2}$$

где  $\alpha$  – скорость виброперемещений, мм/с;  $N$  –  $10^6$  циклов;  $n$  – число циклов нагружений.

Дополнительные осадки основания автомобильной дороги, примыкающих к источнику вибрации (рис. 2), определяются при помощи регрессии полученного с использованием матрицы планирования эксперимента.

Гипотеза об однородности дисперсии в различных сериях опытов (по критериям Кохрена, Барлета) может быть принята, так как отклонения носят случайный характер. На втором этапе дисперсионного анализа произведена аналогичная проверка значимости каждого коэффициента уравнения регрессии к критерию Стьюдента [6].

Дополнительную осадку определяли из выражения:

$$S_{\text{доп}} = K_1 (1,24 + 0,474X_1 + 0,211X_2 + 0,179X_3 + 0,091X_1X_2 + 0,071X_1X_3 + 0,081X_2X_3 + 0,076X_1X_2X_3) 10^{-2}$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий уровень виброскорости для рассматриваемого случая,  $K_1 = 1$  при  $V = 4,52$  мм/с;  $K_1 = 0,8$  при  $V = 2,02$ ;  $X_1X_2X_3$  – соответственно кодовые обозначения удаления основания автомобильной дороги от источника, показателя плотности и коэффициента, учитывающего демпфирующие свойства глинистого грунта;  $X_1 = 1$  при  $L = 3$  м;  $X_1 = -1$  при  $L = 9$  м;  $X_2 = 1$  при  $I_D = 0,42$ ;  $X_2 = -1$  при  $I_D = 0,50$ .

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Наличие виброисточника, примыкающего к основанию автомобильной дороги, способствует появлению дополнительных осадок. Для рассматриваемых типов грунтов это воздействие особенно проявляется при расположении виброисточника на расстоянии до 3 м. Существенное влияние на величину осадки оказывает виброскорость.
2. Вероятность появления дополнительных осадок предложено определять с учетом граничной величины плотности энергии.
3. Получено уравнение для определения дополнительной осадки виброштампа на основе уравнений наследственной ползучести. С учетом n – факторного анализа определены дополнительные осадки основания автомобильной дороги, примыкающих к виброисточнику.

### Список литературы

1. Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков Б.С. Прогноз осадок свайных фундаментов. М.: Стройиздат, 1994, 381с.
2. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа, 1978, 447с.
3. Иванов П.Л. Разжижение и уплотнение несвязных грунтов при динамическом воздействии. Л., 1978. 30 с.
4. Месчан С.Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов. М.: Недра, 1985, 342с.
5. Кузнецов Г.Б. О влиянии скорости в начале процесса на ползучесть и релаксацию материалов // Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений / Пермь. Перм.политехн.ин-т, 1972. С.21-24.
6. Бронин В.Н., Вишневецкий Г.Д. Прикладная теория ползучести грунтов: Учеб. Пособие. Л.: ЛИСИ, 1983, 49с.

**Рецензенты:**

Олонцев В.Ф., д.т.н., профессор, Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, г. Пермь;

Овчинников И.Г., д.т.н., доцент, Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, г. Пермь.