

УДК 621.87

НЕОДНОРОДНОСТЬ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТА КАК ПРИЧИНА ВОЗНИКНОВЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Н.В. Розенфельд, ст. преп., ХНАДУ

Аннотация. Выявлено влияние неоднородности прочностных свойств грунта на усилия в гидроцилиндрах управления автогрейдерным отвалом. Определены статистические характеристики динамической плотности грунта и, как следствие этого, статистические характеристики усилий в гидроцилиндрах автогрейдера при копании грунта стружкой постоянной толщины.

Ключевые слова: автогрейдер, свойства грунта, статистические характеристики, гидроцилиндры.

НЕОДНОРІДНІСТЬ МІЦНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ ЯК ПРИЧИНА ВИНИКНЕННЯ УТОМНИХ НАПРУЖЕНЬ

Н.В. Розенфельд, ст. викл., ХНАДУ

Анотація. Виявлено вплив неоднорідності міцнісних властивостей ґрунту на зусилля в гідроциліндрах керування автогрейдерним відвалом. Визначено статистичні характеристики динамічної щільності ґрунту і, як наслідок цього, статистичні характеристики зусиль у гідроциліндрах автогрейдера при копанні ґрунту стружкою постійної товщини.

Ключові слова: автогрейдер, властивості ґрунту, статистичні характеристики, гідроциліндри.

HETEROGENEITY OF SOIL STRENGTH PROPERTIES AS A CAUSE OF FATIGUE STRESS

N. Rozenfeld, Assistant Professor, KhNAHU

Abstract. Heterogeneity of soil strength properties has been revealed to affect efforts in motor-grader blade control hydraulic cylinders. Statistical characteristics of dynamic soil density and resultant static characteristics of efforts in the motor-grader hydraulic cylinders during fixed-thickness digging have been determined.

Key words: motor grader, soil properties, statistical characteristics, hydraulic cylinders.

Введение

Известно, что поломки металлоконструкции многих машин для земляных работ вызваны усталостными явлениями. При копании грунта автогрейдером на втором и последующих проходах машина движется по достаточно ровной поверхности забоя. В случае, когда толщина срезаемой стружки постоянна, усилия резания и копания грунта должны были бы быть постоянными и не вызывать усталостных явлений. Задачей данного ис-

следования было определить, является ли постоянной величиной сопротивление резания грунта, а если оно не постоянно, как это влияет на нагруженность металлоконструкции машины.

Анализ публикаций

Известно, что коэффициент сопротивления грунта резанию пропорционален числу ударов плотномером (ударником) ДорНИИ. Это выражается известной формулой А. Зеленина [1]

$$P = Ch^{1,35}, \quad (1)$$

где C – величина динамической плотности грунта (число ударов ударником ДорНИИ);
 h – глубина резания.

Поскольку при втором и последующих проходах автогрейдера при резании грунта глубина резания h изменяется весьма незначительно, усилие резания P будет изменяться только при изменении динамической плотности грунта C .

Другой причиной переменных нагрузок при копании однородного грунта могут быть явления скола элементов грунта [2, 3]. Поскольку автогрейдер имеет нож значительной длины (в нашем случае принимался нож длиной 3 м), сколы при малой толщине стружки и длинном ноже не могут происходить одновременно по всей длине ножа, и в нашей работе не учитывались.

Переменные параметры грунта

Неисследованными являются статистические характеристики динамической плотности грунта C и влияние этих характеристик на нагруженность конструкции автогрейдера.

Целью данной работы являлась проверка предположения о непостоянном значении динамической плотности грунта в забое, и в случае подтверждения этого предположения – установление статистических характеристик динамической плотности грунта. Далее следовало определить, как это обстоятельство влияет на усилия в гидроцилиндрах управления отвалом и, соответственно, на нагрузки в металлоконструкции машины.

Динамическая плотность грунта измерялась на ровном участке забоя шириной 3 м и длиной 30 м по семи линиям, отстоящим одна от другой на 0,5 м. Было определено, что на данном грунте динамическая плотность имела среднее значение $C_{cp} = 6,24$ при дисперсии $D_C = 0,846$ и среднеквадратичном отклонении $\sigma = 0,92$. Была построена гистограмма распределения величины C ; значения гистограммы сравнивались с гистограммой для нормального распределения при таких же среднем значении и дисперсии. С помощью критерия «Кси-квадрат» было установлено, что величина C подчиняется нормальному закону распределения с вероятностью 0,92.

Затем методом сплайн-интерполяции определялись значения величины C с более мелким шагом 0,05 м как по длине, так и по ширине забоя. Картина изменения величины динамической плотности на поверхности забоя показана на рис. 1.

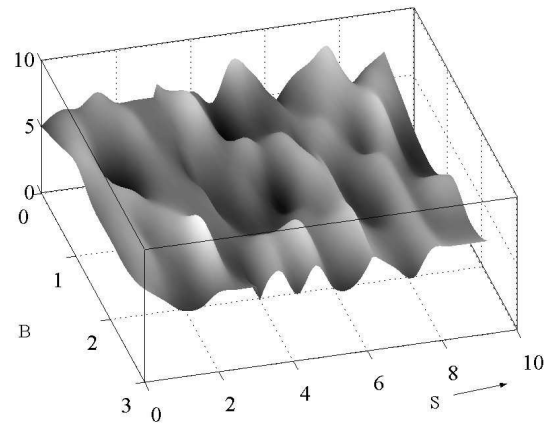


Рис. 1. Изменение динамической плотности грунта C по ширине B и длине забоя S

Измерения с помощью ударника ДорНИИ имеют точность 1, и динамическая плотность грунта определялась с шагом 0,5 м по ширине отвала. Значения динамической плотности C для одного из профилей забоя по ширине отвала показаны на рис. 2 в семи точках. Промежуточные значения определены методом сплайн-интерполяции.



Рис. 2. Изменение динамической плотности грунта по ширине отвала

Положение центра тяжести фигуры (рис. 2) определено методом численного интегрирования. Эта величина показывает, в какой точке отвала приложена равнодействующая силы резания грунта. По мере продвижения машины эта точка будет смещаться по ширине отвала относительно среднего значения (середины отвала). Площадь фигуры (рис. 2) в масштабе соответствует величине усилия резания грунта.

Смещение точки приложения равнодействующей силы резания показано на рис. 3. График изменения усилия резания по пути автогрейдера представлен на рис. 4.

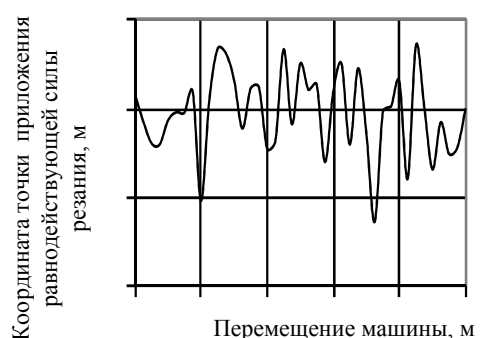


Рис. 3. Изменение точки приложения равнодействующей силы резания грунта по ширине отвала автогрейдера

По данным изменения C по ширине забоя определялось среднее значение усилия резания.

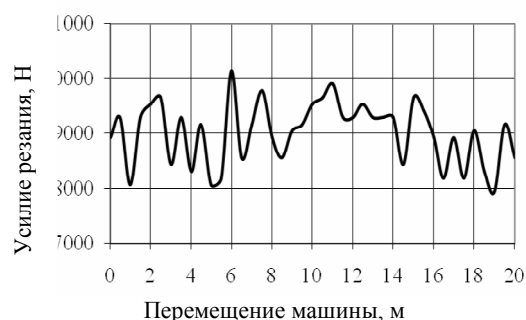


Рис. 4. Изменение величины силы резания по пути движения машины

Поскольку усилия в гидроцилиндрах управления отвалом автогрейдера и, соответственно, напряжения в металлоконструкции машины зависят от величины и точки приложения усилия резания к отвалу, эти напряжения будут функцией двух случайных величин – величины усилия резания и точки приложения этого усилия.

Рассмотрен случай резания грунта отвалом при угле захвата 30° . Среднее значение величины усилия резания соответствует вырезанию стружки постоянной толщиной 5 см при грунте со средним числом ударов ударником ДорНИИ $C = 6$. Среднее значение точки приложения усилия резания соответствует середине отвала. Дисперсии этих величин были определены рассмотрением величины C по шестидесяти сечениям по пути резания.

Были составлены уравнения равновесия тяговой рамы автогрейдера вместе с отвалом под действием усилий, приложенных к отвалу. Решение этих уравнений в символьном виде дало зависимости усилий в гидроцилиндрах от постоянных размерных параметров и случайных усилий на отвале.

Известны зависимости [4] дисперсии произведения константы c на случайную величину X

$$D(cX) = c^2 D(X), \quad (2)$$

где a и b – неслучайные величины;

– для дисперсии линейной функции

$$\sum_{i=1}^n a_i X_i + b$$

$$D\left[\sum_{i=1}^n a_i X_i + b\right] = \sum_{i=1}^n a_i^2 D(X_i) + 2 \sum_{i < j} a_i a_j K_{ij}; \quad (3)$$

– для дисперсии произведения случайных величин X и Y

$$D[XY] = D[X]D[Y] + m_X^2 D[Y] + m_Y^2 D[X]. \quad (4)$$

Эти зависимости позволяют определить дисперсии усилий в гидроцилиндрах и дисперсии напряжений в металлоконструкции машины.

На основании этих данных определяются показатели долговечности конструкции машины. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1 Статистические характеристики усилий в гидроцилиндрах управления тяговой рамой автогрейдера

Характеристики усилий	Усилия в гидроцилиндрах		
	подъема рамы (правый)	подъема рамы (левый)	выноса рамы в сторону
Среднее значение, кН	1,24	4,36	13,2
Дисперсия, (кН) ²	0,744	2,92	5,41
Среднеквадратичное отклонение, Н	0,863	1,701	2,33

Выводы

1. Показатель динамической плотности грунта в пределах забоя является случайной величиной, что приводит к переменным усилиям в гидроцилиндрах управления отвалом и переменным напряжениям в металлоконструкции машины.

Это обстоятельство является причиной усталостных явлений в металле и преждевременного выхода его из строя.

2. Данные о статистических характеристиках усилий, действующих на автогрейдер, позволяют произвести более точный расчет прочности и долговечности конструкции автогрейдера.

Литература

1. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А.Н. Зеле-

нин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АН СССР, 1968. – 375 с.

2. Демішкан В.Ф. Підвищення якості землерийно-транспортних машин вдосконаленням робочого процесу/ В.Ф. Демішкан, В.В. Нічке. – Х.: ХНАДУ, 2007. – 272 с.

3. Холодов А.М. Теоретическое выражение сопротивления грунта лобовому резанию широким плоским ножом / А.М. Холодов // Горные, строительные и дорожные машины. – 1965. – Вып. 1. – С. 5–13.

4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – 4-е изд., стереотип. – М.: Наука, Физматгиз, 1969. – 576 с.

Рецензент: Л.А. Хмара, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 29 мая 2012 г.