

ния качению (f) каждого колеса автопоезда, среднее давление на грунт (q_{cp}) и глубина колеи (h_r) при движении по деформируемым грунтам.

Система уравнений состоит из: уравнения движения двигателя с насосной частью ГТ (1); зависимостей (2) и (3), описывающих его внешние характеристики; уравнения движения его турбинной части с ведущими частями переключаемых фрикционных муфт КП (4); уравнений (5) и (6), описывающих КП с двумя степенями свободы любой структуры и сложности, а также уравнений движения привода ведущих колес (6)—(8), работы дифференциала РК (9) и (10) и двигателей (13) и (14), тяговой динамики (11) и (12) автопоезда, расхода топлива (15), работы (16) и мощности (17) буксования фрикционных муфт КП. Особенностями данной системы уравнений является учет: характеристики двигателя; условий блокирования ГТ, описываемых релейными условиями (3) и (18); особенностей схемы и переменной структуры КП и состоянии ее фрикционных муфт, учитываемых специальными релейными условиями (19) и (20); переменной структуры работы двигателей с учетом их буксования, описываемой релейными условиями (21) и (22); типа дифференциала РК; переменной структуры и основных составляющих [3] радиуса качения колес каждого ведущего моста тягача и сопротивления качению каждого колеса автопоезда, являющегося функцией скорости движения (\dot{x}), крутящего момента (M_k) и неровностей дороги (q) и определяющего в значительной степени эксплуатационные свойства и нагруженность систем и деталей лесовозного автопоезда.

Использование приведенной модели позволяет оценить влияние характеристик ГМТ на скоростные, динамические, экономические и нагрузочные характеристики движения автопоезда в различных грузовых состояниях при различных параметрах внешней среды и воздействия, учитывающих специфику его эксплуатации. По изложенной математической модели разработана программа для ЕС ЭВМ, при апробации которой получены результаты достаточной точности. Расхождение их с результатами эксперимента составило: по нагрузочным режимам — до 6 %, по топливной экономичности — до 15 %, по скоростным качествам — до 10 %.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Жуков А. В., Тихонов А. Ф., Остриков Я. И. Перспективы применения гидромеханических передач на лесовозных автопоездах.— В кн.: Механизация лесоразработок и транспорт леса, Минск: Высш. школа, 1983, вып. 13, с. 90—96.
 [2]. Ли ф ш и ц Г. И. Обобщенная модель коробки передач в динамической расчетной схеме и программе расчета процессов движения транспортной машины.— В кн.: Активная и пассивная безопасность и надежность автомобиля, М.: МАМИ, 1984, с. 12—20.
 [3]. Петрушов В. А., Московкин В. В., Евграфов А. Н. Мощностной баланс автомобиля.— М.: Машиностроение, 1984.— 160 с.

Поступила 3 января 1986 г.

УДК 625.731.001.24

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ОСНОВАНИЯ ЗИМНИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА БОЛОТАХ С ПОПЕРЕЧНЫМ НАСТИЛОМ

Б. В. УВАРОВ, В. В. ЩЕЛКУНОВ

Архангельский лесотехнический институт

Увеличение срока действия зимних автомобильных дорог — важный вопрос лесного транспорта. Продление срока службы дорог возможно

за счет более раннего начала и более позднего окончания их эксплуатации.

Медленное промерзание торфа обычно обуславливает сравнительно позднее начало движения лесовозных автопоездов. В практике находит применение устройство на болотах невысокой насыпи из минерального грунта на сплошном или прореженном поперечном настиле из некондиционной древесины. Построенные таким образом участки позволяют вводить дорогу в эксплуатацию на 10—20 дн раньше из-за более быстрого промерзания минерального грунта. Представляет практический интерес решение таких вопросов, как материал и толщина грунтового слоя, диаметр поперечин для различной влажности торфа, обеспечивающих безопасный проезд автопоездов типа МАЗ. Ниже приводится решение перечисленных вопросов.

Рассчитываемая система состоит: из слоя торфа, характеризуемого коэффициентом постели, зависящим от влажности; сплошного поперечного настила из бревен; полосы мерзлого грунта толщиной n , шириной B и бесконечной длины.

Принята система координат: ось y — вдоль полосы по ее краю; ось x — в поперечном направлении, ось z — вертикально вниз.

Внешняя нагрузка принята в виде прямоугольника по площади, равной отпечатку колеса, симметрично расположенному относительно оси x и отстоящему от начала координат на a_i . Для упрощения расчетов равномерно распределенная по площади прямоугольника нагрузка заменена одинаковыми по величине пятнадцатью сосредоточенными силами, расположенными равномерно по контактной площади.

Исходным дифференциальным уравнением изгиба полосы является уравнение Софи Жермен [1]. Решается оно методом интегральных преобразований.

Выполнив косинус-преобразование Фурье дифференциального уравнения по переменной y , получим:

$$\frac{\partial^4 W^*}{\partial x^4} - 2\alpha^2 \frac{\partial^2 W^*}{\partial x^2} + \alpha^4 W^* = \frac{1}{D} q^*. \quad (1)$$

Здесь W^* — изображение осадки полосы в пространстве Фурье;
 α — переменная, соответствующая в пространстве Фурье координате y ;
 q^* — изображение внешней нагрузки;
 D — цилиндрическая жесткость полосы.

Преобразование Лапласа уравнения (1) по x дает

$$\bar{W}^* = \frac{1}{D} \frac{\bar{q}^*}{(r^2 - \alpha^2)^2} + \frac{r^3 - 2\alpha^2 r}{(r^2 - \alpha^2)^2} W^*(0, \alpha) + \frac{r^2 - 2\alpha^2}{(r^2 - \alpha^2)^2} \frac{\partial W^*(0, \alpha)}{\partial x} + \frac{r}{(r^2 - \alpha^2)^2} \frac{\partial^2 W^*(0, \alpha)}{\partial x^2} + \frac{1}{(r^2 - \alpha^2)^2} \frac{\partial^3 W^*(0, \alpha)}{\partial x^3}, \quad (2)$$

где r — комплексная переменная, соответствующая в пространстве Лапласа координате a .

Воспользовавшись известными из теории упругости формулами для изгибающего момента и перерезывающей силы, которые на краю полосы ($x = 0$) равны нулю, исключаем из уравнения (2) постоянные интегрирования $\frac{\partial^2 W^*(0, \alpha)}{\partial x^2}$ и $\frac{\partial^3 W^*(0, \alpha)}{\partial x^3}$ и получаем:

$$\bar{W}^* = \frac{1}{D} \frac{\bar{q}^* x}{(r^2 - \alpha^2)^2} + \frac{r^3 - r\alpha^2(2 - \mu)}{(r^2 - \alpha^2)^2} W^*(0, \alpha) + \frac{r^2 - \mu\alpha^2}{(r^2 - \alpha^2)^2} \frac{\partial W^*(0, \alpha)}{\partial x}, \quad (3)$$

где μ — коэффициент Пуассона.

Используя таблицы [2], выполняем обратное преобразование Лапласа по x выражения (3):

$$\begin{aligned} W^* = & \frac{1}{D} \int_0^x \frac{q^*(\varepsilon, \alpha)}{2\alpha^3} [\alpha(x-\varepsilon) \operatorname{ch} \alpha(x-\varepsilon) - \operatorname{sh} \alpha(x-\varepsilon)] d\varepsilon + \\ & + \left[\operatorname{ch} \alpha x - \frac{(1-\mu)\alpha x}{2} \operatorname{sh} \alpha x \right] W^*(0, \alpha) + \left[\frac{1+\mu}{2\alpha} \operatorname{sh} \alpha x + \right. \\ & \left. + \frac{1-\mu}{2\alpha} \operatorname{ch} \alpha x \right] \frac{\partial W^*(0, \alpha)}{\partial x}. \end{aligned} \quad (4)$$

Преобразование Лапласа первого слагаемого (3) выполняли по формуле свертки. Исключаем из уравнения (4) оставшиеся постоянные интегрирования $W^*(0, \alpha)$ и $\frac{\partial W^*(0, \alpha)}{\partial x}$, используя граничные условия на другом крае полосы ($x = B$):

$$\begin{aligned} W^*(0, \alpha) = & \frac{A_1 \alpha B \operatorname{sh} \alpha B + A_2 \left[\frac{\mu+3}{1-\mu} \operatorname{sh} \alpha B + \alpha B \operatorname{ch} \alpha B \right]}{\alpha^3 [(\mu+3)^2 \operatorname{sh}^2 \alpha B - (1-\mu)^2 \alpha^2 B^2]}; \\ \frac{\partial W^*(0, \alpha)}{\partial x} = & \frac{A_2 \alpha B \operatorname{sh} \alpha B - A_1 \left[\frac{\mu+3}{1-\mu} \operatorname{sh} \alpha B - \alpha B \operatorname{ch} \alpha B \right]}{\alpha^2 [(\mu+3)^2 \operatorname{sh}^2 \alpha B - (1-\mu)^2 \alpha^2 B^2]}. \end{aligned}$$

Коэффициенты A_1 и A_2 вычисляются по формулам

$$A_1 = \frac{1}{D} \int_0^B q^*(\varepsilon, \alpha) [(1+\mu) \operatorname{sh} \alpha(B-\varepsilon) + (1-\mu) \alpha(B-\varepsilon) \operatorname{ch} \alpha(B-\varepsilon)] d\varepsilon;$$

$$A_2 = \frac{1}{D} \int_0^B q^*(\varepsilon, \alpha) [2 \operatorname{ch} \alpha(B-\varepsilon) - (1-\mu) \alpha(B-\varepsilon) \operatorname{sh} \alpha(B-\varepsilon)] d\varepsilon.$$

$$\text{Принимаем } q(x, y) = P(x, y) - p(x, y), \quad (5)$$

где $P(x, y)$ — нагрузка автомобиля;

$p(x, y)$ — реакция со стороны настила.

Рассматривая бревна (хлысты) настила как бесконечно длинные балки на винклеровском основании, для осадки его в изображении Фурье получим:

$$W_{II}^*(x, \alpha) = \frac{K}{2C} \int_0^B p^*(\varepsilon, \alpha) e^{-K(x-\varepsilon)} [\cos K(x-\varepsilon) + \sin K(x-\varepsilon)] d\varepsilon, \quad (6)$$

$$\text{где } K = \sqrt[4]{\frac{Cb}{4EI}};$$

C — коэффициент постели торфа;

b — толщина бревен настила;

EI — жесткость одного бревна.

После подстановки формулы (5) в (4) интегрируются все слагаемые, содержащие изображение Фурье для известной функции $P(x, y)$. Приравняв осадку полосы (4) к осадке настила (6), получим интегральное уравнение, из которого для заданных значений α можно найти реактивное давление в изображении Фурье $p^*(x, \alpha)$, а затем — изображение Фурье для осадки и изгибающих моментов в полосе и настиле. Оригиналы этих величин находят обратным преобразованием Фурье, выполняемым численно на ЭВМ. Интеграл заменяют конечными суммами и вычисляют по квадратурной формуле трапеций с числом слагаемых N . При этом следует решать систему линейных алгебраических

уравнений N -го порядка для каждого значения α . Обратное преобразование Фурье численно выполняли так же, как в [4], т. е. применяли квадратную формулу прямоугольников с шагом Δ к несобственному интегралу с заменой бесконечного верхнего предела достаточно большим числом.

Наиболее слабая часть конструкции — слой мерзлого грунта, рассматриваемый как бесконечно длинная пластина, испытывающая напряжение изгиба. Расчет на прочность слоя осложняется тем, что мерзлый грунт имеет разную прочность при работе на сжатие и растяжение.

Метод расчета на изгиб материала, имеющего различные модули упругости при растяжении и сжатии, изложен в [3]. За расчетный мы принимаем модуль упругости мерзлого грунта на сжатие, а в качестве допускаемого напряжения, исходя из первого предельного состояния, выбираем мгновенную прочность на растяжение. Опытные значения указанных величин приняты по [5].

Пример рассчитан для полосы мерзлого песка шириной 6 м, при нагрузке от задней оси автомобиля МАЗ-509. Отпечатки колес задней оси заменены прямоугольными площадками шириной 0,21 м и длиной 0,42 м. Модуль упругости мерзлого песка при сжатии и температуре -2°C принят 4 500 МПа, коэффициент постели торфа — от 1 до 5 Н/см³. Расчетное мгновенное сопротивление на растяжение мерзлого песка 0,63 МПа при температуре $-2,2^\circ\text{C}$ и 0,79 МПа — при температуре -5°C . Диаметр поперечин настила изменяется от 10 до 50 см. Такой большой диапазон диаметров выбран для оценки их влияния на прочность слоя грунта.

Предварительные расчеты показали, что при толщине слоя мелкого песка 0,20 м напряжения в нем при достаточно высокой отрицательной температуре выше мгновенного сопротивления растяжения. Ниже приводятся графики для толщины слоя песка 0,3 м. На рис. 1 приведена осадка конструкции в продольном направлении при $C = 5 \text{ Н/см}^3$, на рис. 2 — в поперечном.

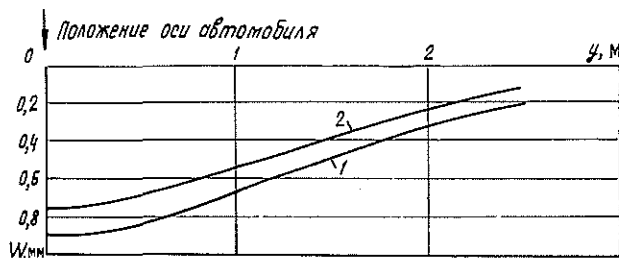


Рис. 1. Осадка конструкции в продольном направлении.
1 — $d = 16$ см; 2 — $d = 50$ см.



Рис. 2. Осадка конструкции в поперечном направлении.
1 — $d = 16$ см; 2 — $d = 25$ см; 3 — $d = 50$ см.

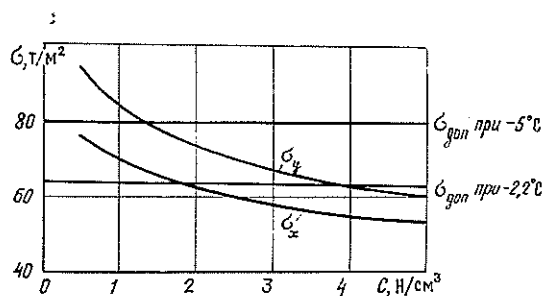


Рис. 3. Зависимость напряжений σ_x и σ_y от коэффициента постели торфа C .

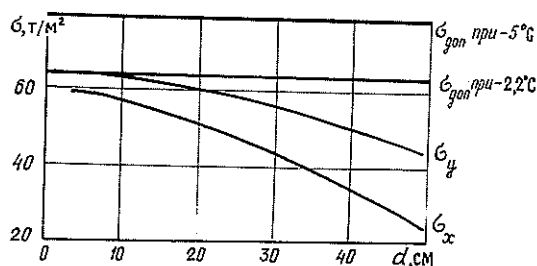


Рис. 4. Зависимость напряжений σ_x и σ_y от диаметра настила d .

Рис. 3 иллюстрирует зависимость напряжений σ_x и σ_y от коэффициента постели торфа при среднем диаметре настила 16 см, здесь же показана мгновенная прочность при разной отрицательной температуре. На рис. 4 показаны графики изменения σ_x и σ_y в зависимости от диаметра настила при $C = 5 \text{ Н/см}^3$.

Выводы

1. При основании в виде маловлажного торфа ($C = 5 \text{ Н/см}^3$) и толщине слоя песка 0,3 м конструкция является прочной при температуре грунта ниже -2°C и диаметре поперечин 10 см и более.

2. Для торфов средней и высокой влажности толщина поперечин должна быть увеличена до 30 см. В данном случае желательно применение вместо песка супеси, имеющей вдвое большую мгновенную прочность на разрыв.

3. Напряжение в поперечинах мало и может не учитываться.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Безухов Н. И. Теория упругости и пластичности.— М.: Гостехиздат, 1953.— 415 с. [2]. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и z-преобразования.— М.: Наука, 1971.— 288 с. [3]. Строительство промышленных сооружений на мерзлом торфе/ С. С. Вялов, Г. Л. Качан, А. Н. Воевода, В. И. Муравленко.— М.: Недра, 1980.— 144 с. [4]. Уваров Б. В., Щелкунов В. В. Расчет на прочность основания зимних автомобильных дорог на болотах.— Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1982, № 6, с. 49—55. [5]. Цытович Н. А. Механика мерзлых грунтов.— М.: Высш. школа, 1973.— 448 с.

Поступила 1 ноября 1985 г.