

Приведенное решение может быть использовано при учете влияния сдвига на изгиб. Второй член левой части формулы (1) принимает вид $\frac{KEId^2\gamma}{G\omega dx^2}$, что отразится на изменении значения коэффициента γ ($\gamma = \sqrt{KEI/(2G\omega)}$). Практически сдвиг целесообразно учитывать начиная с соотношения $\gamma > 0,2 \dots 0,3$ [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Справочник по строительной механике корабля. Т. 1.—Л.: Судостроение, 1982.—376 с. [2]. Уманский А. А. Специальный курс строительной механики. Ч. 1.—М.; Л.: ОНТИ, 1935.—238 с.

Поступила 19 июля 1991 г.

УДК 625.731.001.24

**ИССЛЕДОВАНИЕ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ДВУХСЛОЙНЫХ ЗИМНИХ ДОРОГ НА БОЛОТАХ**

В. С. МОРОЗОВ

СевНИИП

К двухслойным зимним дорогам на болотах относятся конструкции, верхний слой которых представляет собой насыпь из минерального грунта, нижний — мерзлый торф. Основание дороги — талый торф, деформационные свойства которого характеризуются коэффициентом постели C .

Основные положения методики исследования напряженно-деформированного состояния зимних дорог на болотах приведены в работах [1, 2]. Для схемы, изображенной на рис. 1, имеем следующие расчетные зависимости:

нейтральная ось проходит по мерзлому минеральному грунту

$$B_1 E_0 [\nu^2 (3 - \nu) - (\nu - \nu_1)^2 (3 - \nu - 2\nu_1)] - B_2 E_{20} [(1 - \nu)^3 - (\nu - \nu_1)^2 (3 - \nu - 2\nu_1)] = 0; \tag{1a}$$

$$E_s = \{B_1 E_0 [\nu^3 (4 - \nu) - (\nu - \nu_1)^3 (4 - \nu - 3\nu_1)] + B_2 E_{20} [(1 - \nu)^4 - (\nu - \nu_1)^3 (4 - \nu - 3\nu_1)]\} / B; \tag{16}$$

по мерзлому торфу

$$B_1 E_0 [\nu^2 (3 - \nu) - (\nu - \nu_1)^2 (3 - \nu - 2\nu_1)] + B_2 E_{10} (\nu - \nu_1)^2 (3 - \nu - 2\nu_1) - B_2 E_{20} (1 - \nu)^3 = 0; \tag{2a}$$

$$E_s = \{B_1 E_0 [\nu^3 (4 - \nu) - (\nu - \nu_1)^3 (4 - \nu - 3\nu_1)] + B_2 E_{10} (\nu - \nu_1)^3 (4 - \nu - 3\nu_1) + B_2 E_{20} (1 - \nu)^4\} / B; \tag{26}$$

по границе между слоями

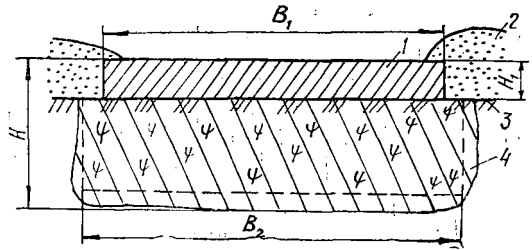
$$B_1 E_0 \nu^2 (3 - \nu) - B_2 E_{20} (1 - \nu)^3 = 0 \tag{3a}$$

$$E_s = B_1 E_0 \nu^3 (4 - \nu) - B_2 E_{20} (1 - \nu)^4. \tag{36}$$

Здесь

B_1, B_2 — ширина верхнего и нижнего слоев насыпи;
 E_0, E_{10}, E_{20} — модули упругости соответственно грунта, мерзлого торфа на сжатие и растяжение при температуре воздуха на поверхности проезжей части дороги;

Рис. 1. Поперечный профиль двухслойной зимней автомобильной лесовозной дороги: 1 — насыпь из минерального грунта; 2 — снег; 3 — поверхность болота; 4 — мерзлый торф



$$\nu = z_1/H; \quad \nu_1 = H_1/H;$$

z_1 — расстояние от поверхности дороги до нейтральной оси;

H, H_1 — толщина дорожной одежды и верхнего слоя (насыпи);

E_s — эквивалентный модуль упругости дорожной одежды;

B — эквивалентная ширина дорожной одежды.

Уравнения (1 а), (2 а) и (3 а) служат для определения положения нейтральной оси; (1 б), (2 б) и (3 б) — для определения эквивалентного модуля упругости.

Нормальные напряжения σ в слое, отстоящем на любом расстоянии y от нейтральной оси, можно определить по формуле

$$\sigma = \frac{E_c M}{E_s I} (z_2 y + y^2), \quad (4)$$

где E_c — модуль упругости материала слоя, в котором вычисляют нормальные напряжения; для насыпи $E_c = E_0$, для мерзлого торфа в зоне сжатия $E_c = E_{10}$, в зоне растяжения $E_c = E_{20}$;

M — изгибающий момент в данном поперечном сечении,

$$M = \sum P_i \mu_i / (4k); \quad (5)$$

P_i — внешняя нагрузка на поверхность дороги от осей автомобиля;

$$\mu_i = e^{-k\xi_i} (\cos k\xi_i - \sin k\xi_i); \quad (6)$$

ξ_i — координата, определяющая расстояние от осей (сил P_i) до данного сечения;

k — коэффициент относительной жесткости,

$$k = \sqrt[4]{U / (4E_s I)}; \quad (7)$$

U — модуль упругости основания дорожной одежды,

$$U = \alpha C B; \quad (8)$$

α — коэффициент поперечного изгиба;

I — момент инерции условного поперечного сечения дороги высотой H и шириной B ,

$$I = B H^3 / 12; \quad (9)$$

$$z_2 = H - z_1.$$

Эпюры нормальных напряжений в зоне растяжения (рис. 2, а, б) имеют максимум, положение которого находим из условия $\sigma' = 0$, отсюда расстояние от точки максимума до нейтральной оси $y_0 =$

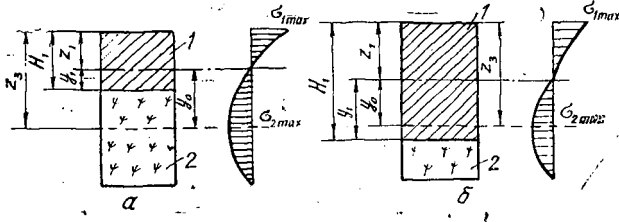


Рис. 2. Поперечные профили и эпюры нормальных напряжений: а — слой, в котором $\sigma_2 = \sigma_{2 \max}$, проходит по минеральному грунту; б — по мерзлому торфу; 1 — мерзлый грунт; 2 — мерзлый торф

$= -z_2 / 2$. Следовательно, максимальные растягивающие напряжения $\sigma_{p \max}$ можно найти по формуле

$$\sigma_{p \max} = -E_c M (H - z_1)^2 / (2E_s I). \quad (10)$$

Подставив в это уравнение выражения (5) для M ; (7) — для k ; (8) — для U и (9) — для I , а также введя величину $\nu = z_1/H$, после преобразований получим

$$\sigma_{p \max} = - \frac{0,3E_c (1 - \nu^2)(1 - \nu)^2 \Sigma P_i^{\mu_i}}{4BH^2 \sqrt{0,03\alpha CE_s^3 H}}. \quad (11)$$

где μ — коэффициент Пуассона материала слоя, в котором $\sigma = \sigma_{p \max}$.

Максимальную толщину дорожной одежды определим из условия

$$|\sigma_{p \max}| = [\sigma_p], \quad (12)$$

где $[\sigma_p]$ — предел прочности на растяжение материала верхнего или нижнего слоя.

Блок-схема расчета двухслойной дорожной одежды зимних дорог на болотах приведена на рис. 3. После ввода исходных данных сна-

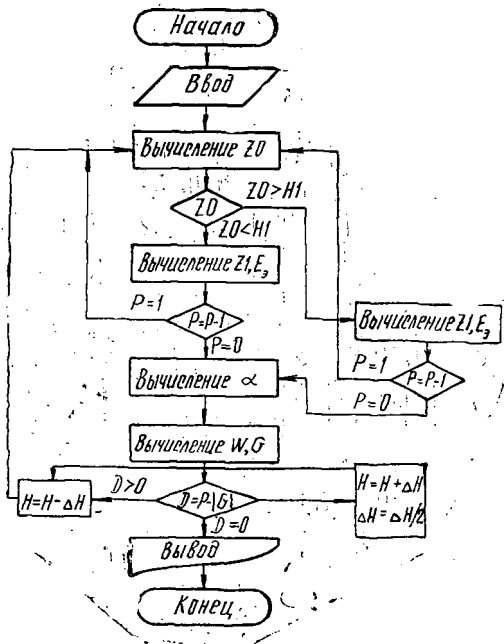


Рис. 3. Блок-схема расчета двухслойной дорожной одежды

чала определяют по уравнению (3а) величину $v = v_0$, а затем $z_0 = v_0 H$ и сравнивают ее с заданной толщиной насыпи H_1 . При $z_0 > H_1$ нейтральная ось располагается в нижнем слое, при $z_0 < H_1$ — в верхнем. В первом случае положение нейтральной оси и эквивалентный модуль упругости находят по уравнениям (2а) и (2б), во втором — по уравнениям (1а) и (1б). Аналогично вычисляют модуль упругости при поперечном изгибе, а затем (по специальной программе) коэффициент поперечного изгиба α .

Обозначим расстояние от поверхности дороги до точки максимума эпюры напряжений как z_3 (см. рис. 2). Очевидно, что $z_3 = z_1 + y_0 = (H + z_1)/2$. Следовательно, при вычислении напряжений по формуле (11) при $z_3 < H_1$ имеем $E_c = E_0$, если $z_3 > H_1$, то $E_c = E_{20}$. В случае $z_3 = H_1$ эпюра напряжений имеет скачок, равный разности напряжений, подсчитанных при $E_c = E_0$ и $E_c = E_{20}$.

Рассмотрим пример расчета толщины дорожной одежды для следующих исходных данных: тип автопоезда МАЗ-509А + ГКБ-9383 с нагрузкой по осям $P_1 = 49,5$ кН; $P_2 = 95$ кН и $P_3 = 165$ кН; тип бoлота 1 ($C = 5$ Н/см³); скорость движения автопоезда более 10 км/ч, ширина проезжей части 700 см, температура воздуха на поверхности дороги $\theta = -1$ °С и $\theta = -5$ °С; расчетные значения модулей упругости мерзлых грунтов торфа $E_{10} = 430$ МПа и $E_{20} = 1300$ МПа, песка — 2500, супеси — 1600, суглинка — 1200, глины — 600 МПа; предел прочности на растяжение мерзлых грунтов: торфа — 1,9, песка — 0,5; супеси и суглинка — 0,7, глины — 0,9 МПа.

При вычислениях для каждого варианта толщину верхнего слоя H_1 изменяли от 0 до 50 см. Для каждого H_1 варьировали H и находили такое его значение, при котором выполнялось условие $\sigma_{p, \max} = [\sigma]$.

Зависимости H от H_1 для отдельных типов грунтов показаны на рис. 4. Как видим, значение H минимально при изменении H_1 от 5 до 20 см. Для супеси, суглинка и глины наименьшее значение H_{\min} составляет примерно 30 см, что равно минимальной толщине однослойной зимней дороги из мерзлого торфа. Следовательно, отсыпка в этих условиях насыпи из минерального грунта не приводит к уменьшению минимальной толщины двухслойной дорожной одежды по сравнению с однослойной.

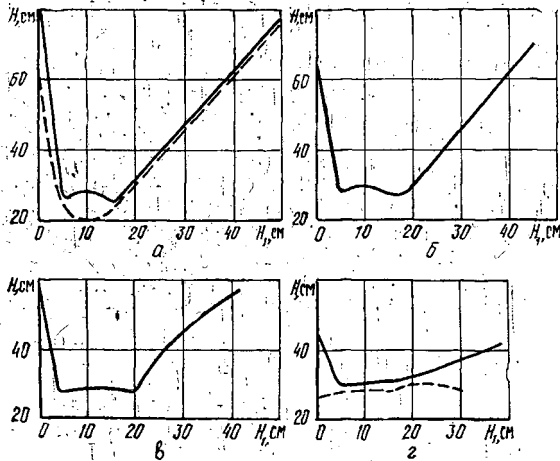


Рис. 4. Зависимость $H(H_1)$: а — песок; б — супесь; в — суглинок; г — глина; сплошные линии — $\theta = -1$ °С; штриховые — $\theta = -5$ °С

С увеличением толщины насыпи более 20 см минимальная толщина дороги возрастает. Этот вывод справедлив, однако, для сыпучих грунтов при температуре Θ , близкой к 0°C . Для связных грунтов и особенно глин при Θ меньше -5°C минимальная толщина дороги мало зависит от толщины насыпи, оптимальное значение которой составляет примерно 27...30 см.

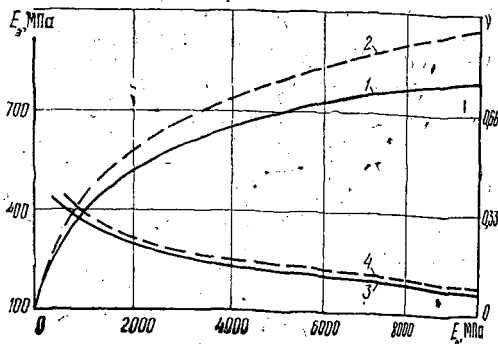
Зависимость H от H_1 у сыпучих грунтов имеет иной вид с минимумом H_1 около 10 см. По обе стороны от этого минимума максимальная толщина дороги резко возрастает. Однако, как и у связных грунтов, наименьшие значения H наблюдаются в диапазоне H_1 5...20 см. Анализируя данные расчета, приведенные на рис. 4, можно сделать вывод, что прочность двухслойных зимних дорог на болотах зависит от двух взаимосвязанных факторов: модуля упругости материала слоя и предела прочности мерзлого грунта на растяжение. Так, для рассматриваемых грунтов насыпи модуль упругости изменяется от 2500 до 600 МПа, предел прочности от 0,5 до 0,9 МПа, а итоговые результаты расчета близки. Тем не менее в качестве материала для насыпей лучше использовать частично связанные (супесь, легкий суглинок) или связанные (тяжелый суглинок, глина) грунты, так как в мерзлом состоянии они более прочны.

При малых толщинах насыпи H_1 нейтральная ось проходит по мерзлому торфу. С увеличением H_1 она приближается к слою минерального грунта, а затем переходит в него. Случай $z_1 = H_1$ зависит, при прочих равных условиях, от модуля упругости верхнего слоя E_0 . Значения $\nu = z_1/H$ и E_3 при $z_1 = H_1$ для ряда E_0 приведены в табл. 1, а зависимость $\nu(E_0)$ и $E_3(E_0)$ — на рис. 5. Из этих данных следует, что с увеличением E_0 значение $H_1 = \nu H$ уменьшается.

Таблица 1

$E_{20} = 1300$ МПа			$E_{20} = 1600$ МПа		
E_0 , МПа	ν	E_3 , МПа	E_0 , МПа	ν	E_3 , МПа
900	0,370	370,3	900	0,392	414,2
1 800	0,302	491,9	1 800	0,322	559,1
2 000	0,292	511,3	2 000	0,312	582,5
3 000	0,255	586,8	3 000	0,274	674,4
4 000	0,231	640,4	4 000	0,248	740,6
5 000	0,213	681,7	5 000	0,230	791,8
6 000	0,199	714,9	6 000	0,215	832,3
7 000	0,188	742,5	7 000	0,203	867,9
8 000	0,179	765,9	8 000	0,193	897,5
9 000	0,171	786,3	9 000	0,185	923,3
10 000	0,164	804,2	10 000	0,178	946,0

Рис. 5. Зависимости $E_3(E_0)$ — кривые 1, 2 и $\nu(E_0)$ — кривые 3, 4 при $E_{20} = 1300$ МПа (сплошные линии) и $E_{20} = 1600$ МПа (штриховые)



Величина y_0 определяет положение слоя поперечного сечения дороги, для которого нормальные растягивающие напряжения максимальны. Если $0 \leq H_1 < 20$ см, этот слой проходит по мерзлому торфу, при $H_1 = (H + z_1)/2$ — по низу насыпи, при $H_1 > (H + z_1)/2$ — по мерзлому грунту.

Особым следует считать случай $H_1 = H$ в осенний период при промерзании насыпи и талом торфе. Такая дорожная конструкция относится к однослойным. Поскольку модули упругости мерзлого грунта при сжатии и растяжении обычно принимают одинаковыми, то уравнения (3) можно решить в общем виде и найти $\nu = 1/3$; $E_z = E_0/3$. Здесь и нейтральная ось, и слой с $\sigma_{p \max}$ расположены в мерзлом грунте, поэтому основное влияние на H_{\min} оказывают прочностные свойства грунта, что наглядно видно из табл. 2.

Таблица 2

Материал	$\theta = -1^\circ \text{C}$		$\theta = -5^\circ \text{C}$		$\theta = -10^\circ \text{C}$	
	E_z , МПа	H , см	E_z , МПа	H , см	E_z , МПа	H , см
Песок	833,3	81,25	3066,7	70,00	5666,7	46,56
Супесь	533,3	67,50	2666,7	37,75	4000,0	30,00
Суглинок	400,0	58,75	1366,7	30,94	2433,3	28,28
Глина	200,0	45,00	733,3	26,72	1400,0	24,38
Снеголед	566,7	50,00	633,3	46,25	700,0	42,50
»	900,0	38,75	1000,0	35,31	1133,3	32,81
Чистый лед	2500,0	32,50	2766,7	30,94	3066,7	29,06

Приведенные результаты позволяют сделать вывод, что наименьшей прочностью обладает насыпь из песка, наибольшей — из глины. В одинаковых условиях толщина насыпи из песка должна быть примерно в 2 раза больше, чем из глины.

Работоспособность насыпей определяется не только прочностью дорожной конструкции, но и несущей способностью проезжей части. Поскольку несущая способность мерзлого песка выше, чем у мерзлой глины, то при оттепелях зимой и в весенний период в первом случае проезжая часть разрушается медленнее, чем во втором. Это снижает эффективность применения насыпи из глины. Для повышения несущей способности поверхности проезжей части можно рекомендовать устройство защитного слоя, лучше всего из снегольда.

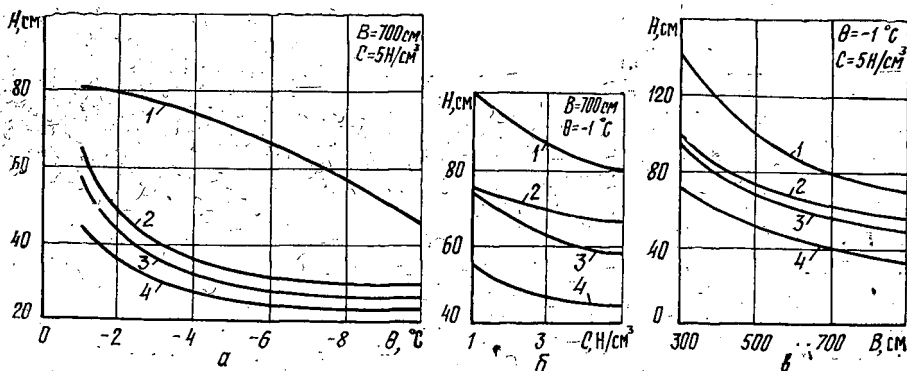


Рис. 6. Зависимость минимальной толщины насыпи от температуры (а), коэффициента постели (б) и ширины дороги (в): 1 — песок; 2 — супесь; 3 — суглинок; 4 — глина

Влияние отдельных факторов на минимальную толщину дорожной одежды зимних дорог на болотах наглядно иллюстрируется графиками, приведенными на рис. 6. Они имеют вид, который можно было спрогнозировать заранее, т. е. с уменьшением температуры, увеличением коэффициента постели и ширины проезжей части дороги минимально допустимая ее толщина уменьшается. Графики показывают закономерность такого уменьшения.

Анализ приведенных результатов позволяет сделать вывод о том, что отсыпка насыпи из минерального грунта, так же как и формирование слоя снегольда на проезжей части зимней дороги, не приводят к существенному повышению прочности зимних дорог на болотах, особенно при температурах, близких к нулю. Однако несущая способность проезжей части повышается, что существенно отражается на условиях эксплуатации зимних дорог осенью и весной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Морозов В. С. Об оценке напряженного состояния оснований зимних дорог на болотах // Лесн. журн.— 1990.— № 1.— С. 37—43.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Морозов В. С. Расчет толщины зимних лесовозных дорог на болотах // Лесн. журн.— 1991.— № 3.— С. 48—52.— (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 24 июня 1991 г.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 630*323.4

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ДЛЯ РАСЧЕТА КРУГЛЫХ ПИЛ
С ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ПОДАЧИ

А. С. ТОРОПОВ

Ленинградская лесотехническая академия

Для процесса поперечного пиления лесоматериалов круглой пилой с вращательным движением подачи (МРКВ) характерно одновременное вращательное движение элементов резания (зубьев) в направлении векторов скорости резания \bar{v}_k и скорости подачи \bar{u}_{ijk} .

В общем виде состояние системы определяется дифференциальным уравнением

$$I\ddot{\varphi}_k = M_{uk} - M_{gk} + \left(G_1 + \frac{G_2}{2}\right) R_0 \sin \varphi_k \cos \psi - \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^{z_{jk}} P_{p_{ijk}} R_{ijk} (\alpha_0 \sin \Theta_{ijk} \pm \cos \Theta_{ijk}) \right], \quad (1)$$

где I — момент инерции подвижных частей круглой пилы относительно оси вращения рамы;

M_{uk} — крутящий момент относительно оси вращения рамы в k -й момент подачи;

M_{gk} — демпфирующий момент в k -й момент подачи;

G_1 — вес режущего инструмента;

G_2 — вес подвижной части рамы пильного механизма;

R_0 — радиус вращения (подачи) круглой пилы.

Что касается остальных величин уравнения (1), то они определены в предыдущей работе*.

Дифференциальное уравнение (1) справедливо для случаев вращения диска пилы и механизма подачи как в одном, так и в противоположном направлениях, о чем свидетельствует знак минус перед некоторыми слагаемыми.

При постоянной угловой скорости подачи круглой пилы ω_{uk} имеем

$$M_{uk} = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^{z_{jk}} P_{p_{ijk}} R_{ijk} (\alpha_0 \sin \Theta_{ijk} \pm \cos \Theta_{ijk}) \right] - R_0 \left(G_1 + \frac{G_2}{2}\right) \sin \varphi_k \cos \psi + M_{gk}. \quad (2)$$

Для расчета параметров круглой пилы с постоянной скоростью подачи ω_{uk} разработана программа МРКВ 11, блок-схема которой приведена на рис. 1.

* Торопов А. С. К определению параметров процесса раскряжевки при вращательной подаче круглой пилы // Лесн. журн.— 1991.— № 2.— С. 68—74.— (Изв. высш. учеб. заведений).