

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ СРОКОВ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ЗИМНИХ АВТОДОРОГ ЧЕРЕЗ БОЛОТА

Меньшиков Александр Михайлович

канд. техн. наук, доцент Высшей инженерной школы, Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, РФ, г. Архангельск

Королев Александр Андреевич

магистрант Высшей инженерной школы, Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Россия, г. Архангельск

Method of justifying the timing of the deployment of road construction works in the transition of winter roads through bogs

Alexander Menshikov

Candidate of Engineering science, associate professor of Higher School of Engineering, Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov, Russia, Arkhangelsk

Alexander Korolev

Master of science of Higher School of Engineering Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov, Russia, Arkhangelsk

Аннотация. При планировании дорожно-строительных работ на болотах в зимний период встает вопрос о сроке промерзания болота, когда становится возможным движение по его поверхности технологических или дорожно-строительных машин. В статье рассматривается методика определения даты начала работ на основе прочностного и теплотехнического расчетов.

Abstract. When planning road construction in marshes in winter, the question arises of the period when the swamp freezes, when it becomes possible to move cargo, technological or road-building machines along its surface. The technique for determining the starting date for work based on strength and heat engineering calculations is considered.

Ключевые слова: зимние автомобильные дороги; строительство дороги через болото; прочность основания; теплотехнический расчет.

Keywords: winter roads; road construction through the swamp; strength of the base; heat engineering calculation.

Прочность поверхности торфа под действием заданной внешней нагрузки (трелевочный

трактор, бульдозер, экскаватор или многооперационные лесосечные машины) зависит от типа болота, его несущей способности. Безопасный проход и работа тяжелой техники на болоте возможны только при достаточной толщине слоя мерзлого торфа, способной выдержать нагрузки от современных машин.

Толщину слоя мерзлого торфа, допускающую движение по поверхности транспортных средств, ориентировочно можно определить по формуле [2, с.34]

$$H_p = 5,875 + 4,518 \cdot 10^{-2} P - 1,1190 C + 0,1690 \Theta + \frac{1}{B} (6040,8 + 46,7716 P - 1084,31 C + 139,506 \Theta)$$

(1)

где H_p – минимальная по условию прочности толщина слоя мерзлого торфа, см;

P – сила тяжести на поверхности проезжей части от транспортных средств, кН;

C – коэффициент постели талого торфа, Н/см³. Зависит от типа болота;

Θ – расчетная температура на поверхности проезжей части, °С;

B – ширина проезжей части, см.

В результате процессов теплообмена, происходящих на поверхности болот, формируется тепловой поток и, соответственно, температурное поле болота. Температурный режим болота зависит от метеорологических условий, составляющих теплового баланса, высоты и физических свойств снежного покрова, наличия растительного слоя на поверхности торфа.

Метеорологические элементы, особенно температура воздуха и снежный покров, в течение периода промерзания не остаются неизменными.

Температура поверхности в природных условиях является результирующей характеристикой сложного теплообмена покрова и толщи торфа с приземным слоем атмосферы согласно схеме на рис.1.

В реальных условиях располагают температурой приземного слоя воздуха, определяемой сетью метеостанций гидрометеослужбы. Поэтому в практике теплотехнических расчетов обычно используют связь температуры дневной поверхности с температурой воздуха и составляющими теплового баланса, из которых в зимний период учитывают радиационную поправку Δt_R , обогревающее влияние снежного покрова Δt_{ch} (с учетом постепенного увеличения высоты снега пропорционально понижению температуры воздуха) и наличие растительного покрова Δt_{pc} .

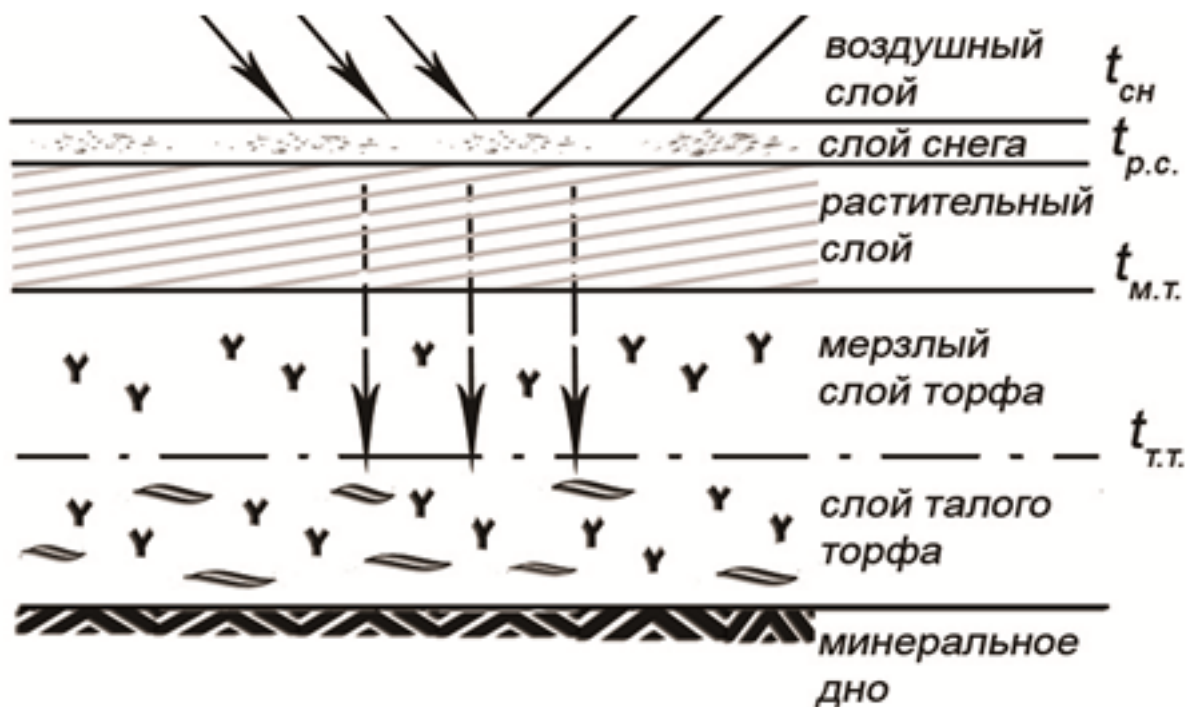


Рисунок 1. Схема тепломассообмена промерзающей залежи с атмосферой

Радиационная поправка Δt_R рассчитывается как разность между температурой поверхности торфа, очищенной от снега и растительного покрова, и температурой воздуха на уровне 2,0 (1,5) м по формуле [3, с.22]

$$\Delta t_R = t_n - t_{\epsilon} = \frac{R}{\alpha_k}$$

(2)

где t_{ϵ} – температура воздуха, °С;

t_n – температура поверхности земли, °С;

R – радиационный баланс земной поверхности, ккал/м²·час. Среднеширотная (для широты 62° РФ) сумма радиационного баланса в ноябре-декабре может быть принята по данным [3];

α_k – коэффициент конвективного теплообмена, ккал/м²·град·час.

Для поверхностей с растительным покровом и снегом $\alpha_k = 8...13,5$ [4, с.74].

В метеорологических исследованиях годовой ход температуры воздуха часто представляют гармоническими функциями в виде тригонометрического полинома Фурье или частных случаев: синус- и косинус-аппроксимаций.

Снежный покров, с одной стороны, увеличивает альбедо поверхности земли, что приводит к уменьшению поглощения лучистой энергии и к понижению среднегодовых температур

поверхности грунта. С другой стороны, снежный покров как естественный теплоизолятор предохраняет массив от теплопотерь в зимнее время года и способствует замедлению промерзания торфа, что приводит к повышению среднегодовых температур в сравнении с t_{ϵ} . График среднееголетних данных наблюдений за высотой снежного покрова $h_{\text{сн}}$ обычно

$$\hat{h}_{\text{сн}}(\tau) = f(\tau)$$

аппроксимируют гладкими алгебраическими полиномами вида τ , где τ – порядковый номер даты в периоде.

Влияние растительного покрова на глубину сезонного промерзания и оттаивания и на температурный режим болот оказывается через обусловленные им изменения теплообмена между почвой и атмосферой, а также через влагообмен между атмосферой и почвой. В результате среднегодовая температура воздуха на поверхности напочвенного растительного покрова (мох, травяной покров, лесная подстилка и т. п.) на 0,2...0,5 °С выше среднегодовой температуры воздуха на высоте 1,5 м [4].

Для приближенных расчетов теплового влияния снега и растительного покрова возможно использовать формулы проф. В.И. Кудрявцева [3, с.157]:

$$\Delta t_{\text{сн}} = \frac{A_{\epsilon}}{2} \cdot \left[1 - \exp \left(-h_{\text{сн}} \sqrt{\frac{\pi}{K_{\text{сн}} T}} \right) \right],$$

(3)

$$\Delta t_{\text{рс}} = \frac{\Delta A_1 \tau_1 - \Delta A_2 \tau_2}{T} \cdot \frac{2}{\pi},$$

(4)

$$\Delta A_1 = A_1 \cdot \left[1 - \exp \left(-h_{\text{рс}} \sqrt{\frac{\pi}{K_{\text{рс}}^m 2\tau_1}} \right) \right],$$

(5)

$$\Delta A_2 = A_2 \cdot \left[1 - \exp \left(-h_{\text{рс}} \sqrt{\frac{\pi}{K_{\text{рс}}^m 2\tau_2}} \right) \right],$$

(6)

$$A_1 = A_{\text{рс}} - t_{\text{рс}},$$

(7)

$$A_2 = A_{\epsilon} + t_{\epsilon},$$

(8)

где A_{ϵ} , $A_{\text{рс}}$ – амплитуда годовых колебаний соответственно температуры воздуха и температуры на поверхности растительного покрова, °С;

$\Delta A_1, \Delta A_2$ – разница в среднесуточных температурах воздуха на поверхности растительного покрова и под ним соответственно за холодное и теплое время года, °С;

$h_{сн}, h_{рс}$ – соответственно толщина слоя снега и толщина растительного слоя, м;

T – продолжительность периода, равного 1 году, час;

τ_1, τ_2 – продолжительность периодов соответственно с отрицательными и положительными температурами воздуха, час;

$K_{сн}$ – коэффициент температуропроводности снега, м²/час;

$K_{рс}^м, K_{рс}^м$ – коэффициенты температуропроводности растительного покрова соответственно в талом и мерзлом состоянии, м²/час.

При расчете A_1 и A_2 значения $t_{рс}$ и $t_в$ принимают с учетом знака.

С учетом всех поправок расчетный температурный режим поверхности несущей торфяной залежи на болоте определяется по формуле

$$(9) \quad t_0 = t_в + \Delta t_R + \Delta t_{сн} + \Delta t_{рс}.$$

Слагаемые формулы (9) также принимают с учетом знаков.

При решении задачи определения глубины промерзания решается уравнение теплового баланса с учетом условий теплообмена, тепло- и массопереноса, а также количества тепла, затрачиваемого или выделяемого в процессе фазовых переходов воды. Теоретическое решение задачи определения глубины промерзания в однородной изотропной среде, известной как «классическая задача Стефана» [3, с.53], одним из первых в 1889 г. получил в общем виде австрийский математик Й. Стефан.

На основе решения Й. Стефана А.Г. Дорофеев [1, с.13] вывел зависимость для определения времени промерзания τ (в сутках) зимней дороги на переходе через болото с открытой поверхностью, которая с учетом обогревающих факторов уточнена нами и используется для практических расчетов в виде

$$(10) \quad \tau = \frac{Q \left(\frac{1}{\alpha_в} + \frac{h_{сн}}{\lambda_{сн}} + \frac{h_{рс}}{\lambda_{рс}} + \frac{h_m}{\lambda_m} + \frac{h_t}{\lambda_t} + \frac{1}{\alpha_t} \right)}{24F(t_m - t_o)},$$

где Q – количество холода, необходимого для замерзания верхнего слоя торфа до нормированной температуры -0,3 °С на границе раздела зон, ккал;

$$\left(\frac{1}{\alpha_{\varepsilon}} + \frac{h_{\text{сн}}}{\lambda_{\text{сн}}} + \frac{h_{\text{рс}}}{\lambda_{\text{рс}}} + \frac{h_{\text{м}}}{\lambda_{\text{м}}} + \frac{h_{\text{т}}}{\lambda_{\text{т}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{т}}} \right) - \text{термическое сопротивление среды, м}^2 \cdot ^\circ\text{C/ккал};$$

α_{ε} – коэффициент теплопередачи от воздуха к открытой поверхности торфяной **Залежи**, ккал/(м²·°C);

$\alpha_{\text{т}}$ – коэффициент теплопередачи от нижней границы мерзлого слоя торфяной залежи к поверхности талого слоя торфяной залежи, ккал/(м²·°C). Определяется по формуле

$$(11) \quad \alpha_{\text{т}} = \lambda_{\text{м}}/h_{\text{к.т}} ,$$

где $h_{\text{к.т}}$ – толщина слоя торфа, участвующего в конвективном теплообмене, м;

t_{ε} – температура воздуха согласно метеорологическим данным по району, °C;

$t_{\text{т}}$ – температура на границе раздела мерзлого и талого слоев торфа, °C.

Принимается согласно СНиП 2.02.04-88 $t_{\text{т}} = -0,3$;

$\lambda_{\text{сн}}$ – коэффициент теплопроводности снега, ккал/(м·ч·°C). Принимается

в ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЛОТНОСТИ СНЕГА В ЕСТЕСТВЕННОМ СОСТОЯНИИ;

$\lambda_{\text{рс}}, \lambda_{\text{т}}, \lambda_{\text{м}}$ – коэффициенты теплопроводности соответственно растительного слоя, **ТАЛОГО и мерзлого торфа**, ккал/(м·ч·°C);

$h_{\text{м}}, h_{\text{т}}$ – изменяющиеся толщины зон соответственно мерзлого и талого торфа, м;

F – расчетная площадь теплопередачи, м², $F = 1 \text{ м}^2 [1, \text{с.10}]$.

По данной методике нами выполнены расчеты для районов, где имеются данные регулярных метеонаблюдений за температурой и снегонакоплением.

Список литературы:

1. Дорофеев А.Г. Зимние лесовозные дороги с увеличенным сроком действия. Обзорная информация. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1987. – 52 с.
2. Морозов В.С. Справочное пособие по определению толщины дорожных одежд зимних автомобильных дорог на болотах. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2000. – 40 с.
3. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях. Под ред. проф. В.А.Кудрявцева. – М.: Изд-во МГУ, 1974.–431 с.
4. Павлов А.В. Теплообмен промерзающих и протаивающих грунтов с атмосферой. – М.: Наука, 1965. – 254 с.

