3. Владимиров, С. А. Оценка рыбных запасов и биопродуктивности акватории Азово-Кубанского района / С. А. Владимиров, Н.Н. Крылова, С.М. Драгунова // Управление инновациями в современной науке: сборник статей Международной научно-практической конференции (15 октября 2015 г., г. Самара) в 2 ч. Ч.2 – Уфа: АЭТЕРНА, 2015. – С. 88-91.
4. Сафронова, Т. И. Вероятностный подход к решению проблем управления технологическими процессами рисовой оросительной системы / Т. И. Сафронова, С. А. Владимиров, И. А. Приходько // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63. № 1. – С. 7.
5. Владимиров, С. А. Агромелиоративные приемы возделывания риса на экологически чистой основе в условиях Нижней Кубани: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / С.А. Владимиров; НИМИ. – Новочеркасск, 1991. – 24 с.
6. Сафонова, Т. И. Оценка мелиоративного состояния рисовой оросительной системы по интегральному показателю / Т. И. Сафронова, И. А. Приходько // Мелиорация и водное хозяйство. – 2009. Вып. 3. – С. 42-43.
7. Сафронова, Т. И. Мониторинг почвенно-мелиоративного состояния земель дельты реки Кубань / Т. И. Сафронова, И. А. Приходько // Науч. журнал Труды КубГАУ. – 2006. – Вып. 01 (17). – С. 8.
8. Драгунова, С. М. Проблемы экосистемного водопользования на водозаборах нижней Кубани / С.М. Драгунова, В. В. Данилов, Н. Н. Крылова // Экология речных ландшафтов: сб. ст. по материалам II Междунар. конф./ отв. за вып. Н. Н. Мамась. – Краснодар: КубГАУ, 2018. С. – 73-74.
9. Побелат, Д. А. Назначение Краснодарского водохранилища / Д. А. Побелат, М. В. Кулаков, Е. Ф. Чебанова // Экология речных ландшафтов: сб. ст. по материалам II Междунар. конф./ отв. за вып. Н. Н. Мамась. – Краснодар: КубГАУ, 2018. С. – 184-187.
10. Кайтмесов, А. Х. Анализ эффективности использования земельного фонда на основе комплексных показателей / А. Х. Кайтмесов, Е. И. Хатхоху. // Вестник научно-технического творчества молодежи Кубанского ГАУ. В 4 т. / сост. А. Я. Барчукова, Я. К. Тосунов; под ред. А. И. Трубилина, отв. ред. А. Г. Кощаев. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – Т. 2, вып. 1. – С. 14-18.
11. Крылова, Н. Н. Мелиорация переувлажненных земель степной зоны Нижней Кубани / Н. Н. Крылова, Е. С. Новикова, Е. И. Хатхоху // Научный журнал Эпомен. – 2018. – Вып. 13. С. 113-119.

Панков В.Ю., Бурнашева С.Г.

Влияние скорости ветра на температуру поверхности дорожного полотна

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова
(Россия, Якутск)*

doi: 10.18411/lj-08-2020-63

idsp: ljjournal-08-2020-63

Аннотация

Целью работы являлось исследование количественных характеристик влияния скорости ветра на изменение температуры поверхности дорожного полотна при различной длительности процесса теплообмена. Получены расчетные зависимости для определения изменения температуры поверхности дороги во времени в зависимости от средней скорости ветра и температуры воздуха на рассматриваемом участке. Исследована зависимость изменения температуры поверхности дорожного полотна от теплофизических свойств грунта, скорости и температуры воздуха. Определена область изменения скорости ветра при которой разность температур поверхности дороги и воздуха не превысит одного градуса Цельсия.

Ключевые слова: автомобильная дорога, грунт, скорость ветра, температура поверхности, температура воздуха, коэффициент теплоотдачи.

Abstract

The aim of the work was to study the quantitative characteristics of the influence of wind speed on a change in the surface temperature of the roadway with different durations of the heat transfer process. The calculated dependences are obtained for determining the change in the surface temperature of the road over time depending on the average wind speed in the considered section. The dependence of changes in the surface temperature of the roadway on the thermophysical properties of the soil, air velocity and temperature is investigated. The

region of variation of the wind speed at which the temperature difference between the surface of the road and the air does not exceed one degree Celsius is determined.

Keywords: road, soil, wind speed, surface temperature, air temperature, heat transfer coefficient

Введение. Температурный режим дорожного полотна во многих случаях является определяющим фактором их безопасной и надежной эксплуатации. Особенно важен этот фактор для автомобильных дорог криолитозоны, которые подвержены таким негативным проявлениям криогенеза как прогрессирующее оттаивание пород, солифлюкция, кавернообразование, пучение и морозобойное растрескивание грунтов[1-4]. На формирование температурного режима дорог оказывает влияние множество факторов: теплофизические свойства грунтов, их влажность (льдистость), температура и скорость воздуха на рассматриваемом участке трассы, наличие теплоизоляционного слоя, вид покрытия и конструкция дорожной одежды и т.д.

Целью работы являлось исследования количественных характеристик влияния скорости ветра на изменение температуры поверхности дорожного полотна при различной длительности процесса теплообмена.

Метод. Для получения расчетных зависимостей воспользуемся решением уравнения теплопроводности Фурье при граничных условиях третьего рода, полученного интегральным методом [5,6,7,8]. В этом случае формула для расчета температуры поверхности дороги будет иметь вид

$$T = Te + (t - Te)/(1 + D/\alpha\sqrt{3\tau}) \quad (1)$$

$$D = \sqrt{(\rho c \lambda)} \quad (2)$$

где T - температура поверхности дорожного полотна, $^{\circ}\text{C}$; Te - температура на глубине зоны теплового влияния поверхности дороги, $^{\circ}\text{C}$; t - температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$; α - коэффициент конвективного теплообмена, $\text{Вт/м}^2\text{К}$; τ - время, с; ρ - плотность грунта, кг/м^3 ; c - удельная теплоемкость грунта, $\text{Дж/кг}\cdot\text{К}$; λ - теплопроводность грунта, $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$; D - коэффициент теплоусвоения грунта, $\text{Дж/м}^2\text{Кс}^{0.5}$.

Коэффициент конвективного теплообмена между воздухом и поверхностью дорожного полотна в зависимости от скорости ветра на рассматриваемом участке трассы может быть найден по формулам [9]

$$\alpha = 6,16 + 4,19V \quad 0 \leq V \leq 5 \quad (3)$$

$$\alpha = 7,56V^{0,78} \quad 5 \leq V \leq 30 \quad (4)$$

Анализ результатов. Анализ формулы (1) показывает, что температура поверхности грунта определяется коэффициентом теплоусвоения грунта: чем он больше, тем больше разница между температурой воздуха и температурой поверхности дороги. А, от времени и коэффициента конвективной теплоотдачи, зависимость обратная: чем они больше, тем разница между температурой воздуха и температурой поверхности дороги меньше. При достаточно большом значении коэффициента конвективного теплообмена температура поверхности дороги будет близка к температуре воздуха. Нас интересовало в данном случае при какой скорости ветра в реальных условиях эксплуатации дороги можно считать, что температура поверхности дороги и воздуха будут отличаться незначительно. То есть, при решении соответствующих тепловых задач по определению температуры в дорожной конструкции и подстилающем грунте можно от граничных условий третьего рода перейти к граничным условиям первого рода. Последнее позволяет, во многих, практически интересных случаях, получить простые аналитические зависимости для прогноза и оценки температурного режима автомобильных дорог различных категорий.

По полученным зависимостям были проведены варианты расчеты, которые представлены в виде графиков на рисунках. На рисунке 1 приведено изменение температуры поверхности дорожного полотна от скорости ветра при температуре воздуха $+20^{\circ}\text{C}$. Коэффициент теплоусвоения грунта был принят постоянным, равным $1500 \text{ Дж/м}^2\text{Kc}^{0.5}$.

Рис.1. Изменение температуры поверхности дороги от длительности процесса теплообмена при температуре воздуха $+20^{\circ}\text{C}$ и скорости ветра:
1 - 5 м/с; 2 - 4 м/с; 3 - 3 м/с; 4 - 2 м/с; 5 - 1 м/с.

Как видно из графиков, представленных на рисунке, скорость ветра оказывает существенное влияние на температуру поверхности дорожного полотна только при малой длительности рассматриваемого процесса теплообмена. Причем, чем меньше скорость ветра, тем больше период времени требуется для приближения значений температуры воздуха и поверхности дороги.

На рис.2 представлены графики изменения температуры поверхности дороги при постоянной скорости ветра (3 м/с) для различных температур воздуха на рассматриваемом участке трассы. Голубым цветом выделены участки с разницей между температурой воздуха и поверхности дороги меньше одного градуса Цельсия. Анализируя характер графиков можно сделать вывод, что чем больше температура воздуха, тем больший период времени (при постоянной скорости воздуха) требуется для достижения постоянной разницы между температурой воздуха и поверхностью дороги. Так, для температуры воздуха, равной 30°C этот период составляет почти 20 дней, а для температуры воздуха, равной 20°C почти в три раза меньше. Для температуры воздуха равной 10°C в десять раз меньше - всего 2 дня.

Рис.2. Изменение температуры поверхности дороги при скорости ветра 3 м/с в зависимости от длительности процесса теплообмена и температуры воздуха:
1- 30 °C; 2- 20 °C; 3- 15 °C; 4- 10 °C; 5- 5 °C.

Представляет практический интерес оценить влияние основных составляющих теплообмена на достижение допустимой в инженерной практике ошибки в определении температуры поверхности дорожного полотна. Примем, что допустимая ошибка (условие точности) составляет один градус Цельсия. В этом случае возможен переход при решении тепловых задач от граничных условий третьего рода к граничным условиям первого рода. На рисунке 3 представлены графики изменения скорости ветра от длительности процесса теплообмена для различных типов грунтовых оснований дорожного полотна. Температура воздуха принята в расчетах постоянной, равной +20 °C.

Рис.3. Необходимая скорость ветра для достижения разницы в один градус между температурой воздуха и поверхностью дороги при различной длительности процесса теплообмена:

$$1 - D = 1200 \text{ Дж/м}^2 \text{ Кс}^{0.5}; 2 - D = 1500 \text{ Дж/м}^2 \text{ Кс}^{0.5}; 3 - D = 2000 \text{ Дж/м}^2 \text{ Кс}^{0.5}$$

Как видно из графиков, при увеличении коэффициента теплоусвоения грунта в 1,7 раза (кривые 1 и 3 на рисунке) скорость ветра, необходимая для выполнения условия точности при длительности процесса теплообмена в 10 дней, также должна быть почти в 1,7 раза выше. При увеличении длительности процесса теплообмена до 70 дней, необходимая скорость воздуха возрастает в 2 раза – с 2 до 4 м/с. Интересно отметить, что для малых времен протекания тепловых процессов (меньше 10 дней) скорости воздуха должны иметь очень высокие значения для всех типов грунтов и превышать значение 7 м/с, что на практике встречается достаточно редко. На обобщающем 3D графике (рис.4) показана зависимость необходимой скорости ветра для достижения условия точности от коэффициента теплоусвоения грунта и длительности теплового процесса.

Рис. 4. Необходимая скорость ветра «V» (м/с) для достижения разницы между температурой воздуха и поверхностью дороги в зависимости от параметра теплоусвоения грунта «D» ($\times 10^{-3} \text{ Дж/м}^2 \text{ Кс}^{0.5}$) при различной длительности процесса теплообмена «Таи» (дни).

Из графика видно, что необходимая скорость ветра существенно изменяется для малых времен и может превышать 30м/с (ураган), что не имеет практического смысла. Для реальных времен исследования процессов формирования температурного режима дорожного полотна, исчисляемых месяцами, скорости ветра находятся в характерном диапазоне эксплуатации дорог в различных климатических зонах страны.

1. Шац М.М. Современное состояние городской инфраструктуры г. Якутска и пути повышения ее надежности// Геориск. – 2011. – №2. – С. 40-46.
2. Шац М.М., Сериков С.И. Современное обводнение территории г. Якутска// Наука и образование. – 2009. – № 4. – С. 162–171.
3. Шестернев Д.М., Литовко А.В. Комплексные исследования по выявлению деформаций на автомобильной дороге «Амур» //Материалы докладов XIV Общероссийской научно-практической конференции и выставки «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». – М.: «Геомаркет». – 2018. – С.309-314.
4. Железняк М.Н., Шестернев Д.М., Литовко А.В. Проблемы устойчивости автомобильных дорог в криолитозоне//Материалы докладов XIV Общероссийской научно-практической конференции и выставки «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» – М.: «Геомаркет». – 2018. – С.223-227.
5. Гудмен Т.Р. Применение интегральных методов в нелинейных задачах нестационарного теплообмена // Сборник статей : Проблемы теплообмена. — М.: Атомиздат, 1967.— С. 41-95.
6. Galkin, A.F. Calculation of parameters of cryolithic zone mine openings thermal protection coating. Metallurgical and Mining Industry. 2015, No 8, pp.64-69.
7. Galkin, A.F. Rational ventilation mode of mountain manufactures in cryolite zone. Metallurgical and Mining Industry, 2015, No 1, pp.62-65.
8. Галкин А.Ф. Регулирование теплового режима при проходке горных выработок в мерзлых породах// Безопасность труда в промышленности. –2008. – №7. – С.28-31.
9. Перлыштейн Г. З. Водно-тепловая мелиорация мерзлых пород на Северо-Востоке СССР. — Новосибирск: Наука, 1979. — 304 с.