

# О РАСЧЁТНОЙ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА В РАБОЧЕМ СЛОЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА: ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Киялбаев А.К.<sup>1</sup>, Сагыбекова А.О.<sup>2</sup>, Юн Д.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Киялбаев Абды Киялбаевич - доктор технических наук,  
директор,

научно-производственный департамент;

<sup>2</sup>Сагыбекова Акмарал Оразбековна - кандидат технических наук, ассоциированный профессор,  
кафедра транспортного строительства и производства строительных материалов;

<sup>3</sup>Юн Дмитрий Сергеевич – магистрант,  
Казахская автомобильно-дорожная академия им. Леонида Гончарова,  
г. Алматы, Республика Казахстан

**Аннотация:** в статье анализируется методика определения расчётной влажности грунта рабочего слоя земляного полотна в условиях засушливого климата.

**Ключевые слова:** засушливая зона, влажность грунта, расчётный период, коэффициент уплотнения грунта, плотность скелета грунта, стандартное уплотнение, морозное пучение грунта.

Пустынная и полупустынная местности характерны для большинства территорий Казахстана. Три четверти территории РК занимают пустыня и полупустыня. При проектировании и строительстве автомобильных дорог в проекте организации работ на этой территории необходимо учитывать условия возведения земляного полотна. несколько отличаются от обычных, и имеют свои особенности.

Учет этих особенностей требуется для того, чтобы правильно определить наиболее выгодные средства механизации и разработать соответствующую технологию, обеспечивающую высокое качество выполнения работ.

Возведение земляного полотна в засушливой зоне Казахстане также имеет свои специфические особенности, т.к. при уплотнении грунтовых слоев в этой зоне часто встречается дефицит влажности воздуха и грунтовых покровных отложениях, а сезонные изменения их технологических свойств в верхнем деятельном слое от полного иссушения до избыточного увлажнения. Поэтому при проектировании и сооружении земляного полотна в засушливых районах Казахстана необходимо учитывать следующие особенности природных условий, которые отрицательно сказываются на несущей способности земляного полотна в процессе эксплуатации дороги и усложняют производство и организацию работ в период строительства [1, 2, 3]:

- общий дефицит влажности воздуха и грунтов покровных отложений, сезонные изменения их технологических свойств в верхнем деятельном слое от полного иссушения до избыточного увлажнения;
- преимущественное распространение грунтов особых разновидностей (лессы, лессовидные суглинки, засоленные грунты, солонцы и солончаки), в широких масштабах меняющих свои прочностные и технологические свойства в зависимости от степени увлажнения и уплотнения;
- искусственное орошение земель и связанное с ним близкое к поверхности земли стояние подземных вод. А также высокая стоимость земельных угодий, обуславливающих стесненность условий и дефицит местных грунтов;
- наличие двух неблагоприятных периодов сооружения земляного полотна: зимний и летний периоды года.

Исходя из вышеизложенным, нами были разработаны методика определения расчётной влажности грунта рабочего слоя земляного полотна в условиях засушливого климата. При этом расчетные параметры грунта были определены лабораторией КазАДИ при выполнении полевых работ на автомобильных дорогах Жамбылской и Южно-Казахстанской областей местного значения (2011-2013 гг.). Ниже приводится алгоритм и результаты расчета. Приходная часть уравнения водного баланса определяется расчётом по площади водосбора ливневого стока, расходная – по метеорологическим ежемесячникам Гидрометслужбы, испарение, впитывание – на основе определения фильтрационных показателей поверхностного слоя подстилающих грунтов.

## **Пример. Определения расчётной влажности грунта рабочего слоя земляного полотна.**

**Исходные данные.** Дорога проходит по орошаемой территории. Рабочий слой земляного полотна утраивается из суглинка легкого пылеватого (влажность на границе раскатывания 17%, влажность на границе текучести 29%, оптимальная влажность 16%), максимальная плотность скелета грунта 1,7 т/м<sup>3</sup>, коэффициент уплотнения, определенные в лаборатории КазАДИ 0,98.

Конструкция дорожной одежды: асфальтобетон горячий плотный (плотность 2,4 т/м<sup>3</sup>), толщина 0,05 м; асфальтобетон пористый (плотность 2,3 т/м<sup>3</sup>), толщина 0,08 м; щебень из гранита (плотность 1,80 т/м<sup>3</sup>), уложенный по способу заклинки, толщиной 0,2 м; песок средней крупности (плотность 1,95 т/м<sup>3</sup>), толщиной 0,2 м. 3-й тип увлажнения рабочего слоя.

1. Определение расчётной влажности грунта при отсутствии промерзания земляного полотна под дорожной одеждой.

**Алгоритм расчёта.** Величину расчётной влажности грунта в пределах зоны промерзания земляного полотна можно определять по формуле [3,5]:

$$W_{РАСЧ(М)} = \frac{\rho_B}{1.09} \left\{ \frac{1 + l_{ПУЧ} \left[ 1 - a_{П} l_g \left( 1 + \frac{P}{P_O} \right) \right]}{K_{У} \rho_{СК(МАХ)}} - \frac{1}{\rho_{ГР}} \right\} + 0.083 W_{ИЗ} \quad (1)$$

где  $W_{РАСЧ(М)}$  – влажность в расчётный период в пределах зоны промерзания земляного полотна под дорожной одеждой, доли единицы;  $l_{ПУЧ}$  – относительная величина морозного пучения грунта, доли единицы;  $a_{П}$  – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки на пучение грунта, безразмерная величина;  $P$  – нагрузка на зону пучения грунта, равная давлению веса дорожной одежды; МПа;  $P_O$  – нагрузка на грунт, при которой устанавливается значение коэффициента  $a_{П}$ , Па,  $P_O=9,8$  КПа;  $W_{ИЗ}$  – величина незамерзшей воды в грунте по формуле (2), доли единицы.

$$W_{ИЗ} = K_{ИЗ} W_u \quad (2)$$

где  $K_{ИЗ}$  – коэффициент, зависящий от вида грунта, числа пластичности и температуры мерзлого грунта;  $W_u$  – влажность грунта на границе раскатывания, доли единицы.

Величину расчётной влажности грунта при отсутствии промерзания земляного полотна под одеждой следует определять по формулам (3) и (4):

$$W_{РАСЧ(1)} = W_{ОПТ} + W_{РАСЧ(2,3)} / 2, \quad (3)$$

$$W_{РАСЧ(2,3)} = \frac{\rho_{ГР} - K_{У} \rho_{СК(МАХ)} \rho_B}{K_{У} \rho_{СК(МАХ)} \rho_B} - V_{ВОЗД}. \quad (4)$$

где  $W_{РАСЧ(1)}$  – влажность грунта в расчётный период при 1-ом типе увлажнения рабочего слоя земляного полотна, доли единицы;  $W_{ОПТ}$  – оптимальная влажность грунта, доли единицы;  $W_{РАСЧ(2,3)}$  – влажность грунта в расчётный период при 2-ом типе и 3-ем типе увлажнения рабочего слоя земляного полотна, доли единицы.  $\rho_{ГР}$  – плотность частиц грунта, т/м<sup>3</sup>;  $K_{У}$  – нормативное значение коэффициента уплотнения грунта;  $\rho_{СК(МАХ)}$  – максимальная плотность скелета грунта по методу стандартного уплотнения, т/м<sup>3</sup>;  $\rho_B$  – плотность воды, т/м<sup>3</sup> ( $\rho_B=1,0$  т/м<sup>3</sup>);  $V_{ВОЗД}$  – объём воздуха в грунте, доли единицы.

**Порядок расчёта.**

$$W_{РАСЧ(3)} = \frac{(2,69 - 0,98 \cdot 1,70) \cdot 1,0}{0,98 \cdot 2,69 \cdot 1,70} - 0,02 = 0,208$$

Относительная величина влажности составляет:  $\frac{W_{РАСЧ(3)}}{W_L} = \frac{0,208}{0,29} = 0,72$

2-й тип увлажнения рабочего слоя:  $W_{РАСЧ(2)} = W_{РАСЧ(3)} = 0,208$

$$\frac{W_{РАСЧ(2)}}{W_L} = \frac{0,208}{0,29} = 0,72$$

1-й тип увлажнения рабочего слоя.

Расчёт проводим по формуле:  $W_{РАСЧ(1)} = \frac{0,16 + 0,21}{2} = 0,185$

Относительная величина влажности составляет:  $\frac{W_{РАСЧ(1)}}{W_L} = \frac{0,185}{0,29} = 0,64$

2 Определение расчётной влажности грунта при промерзании земляного полотна под дорожной одеждой.

Исходные данные. Толщина слоя мерзлого грунта под дорожной одеждой составляет 0,2 м. Остальные исходные данные те же (см. выше).

Предварительно установим величину давления на грунт от веса дорожной одежды  $P=(2400 \cdot 0,05 + 2300 \cdot 0,08 + 1800 \cdot 0,20 + 1950 \cdot 0,20) \cdot 0,0098 = 10,3$  КПа.

Затем вычисляют по формуле (3) количество незамерзшей воды

$$W_{ИЗ}=0,40 \cdot 0,17=0,068.$$

Для 1-го типа увлажнения устанавливаем по формуле (1) величину расчётной влажности грунта в пределах зоны промерзания земляного полотна.

$$W_{РАСЧ(М)} = \frac{1,00}{1,09} \left\{ \frac{1 + 0,02 \left[ 1 - 0,5 l_g \left( 1 + \frac{10,3}{9,8} \right) \right]}{0,98 \cdot 1,70} - \frac{1}{2,69} \right\} + 0,083 \cdot 0,068 = 0,224$$

$$\text{В этом слое } \frac{W_{РАСЧ(М)}}{W_L} = \frac{0,224}{0,29} = 0,77.$$

Ниже глубины промерзания влажность грунта равна величине 0,185 (см. выше). Тогда среднее по глубине значение расчётной влажности грунта рабочего слоя составит:

$$W_{РАСЧ(1)} = \frac{0,224 \cdot 0,2 + 0,185 \cdot (1,2 - 0,2)}{1,2} = 0,192.$$

По отношению к влажности на границе текучести расчётная влажность составляет:  $\frac{0,192}{0,29} = 0,66$

Для 2-го типа увлажнения устанавливаем по формуле (1) величину расчётной влажности грунта в пределах зоны промерзания земляного полотна

$$W_{РАСЧ(М)} = \frac{1,00}{1,09} \left\{ \frac{1 + 0,05 \left[ 1 - 0,5 \cdot l_g \left( 1 + \frac{10,3}{9,8} \right) \right]}{0,8 \cdot 1,70} - \frac{1}{2,69} \right\} + 0,083 \cdot 0,068 = 0,236$$

$$\text{В этом слое } \frac{W_{РАСЧ(М)}}{W_L} = \frac{0,236}{0,29} = 0,81.$$

Ниже глубины промерзания влажность грунта равна величине 0,208 (см. выше). Тогда среднее по глубине значение расчётной влажности грунта рабочего слоя составит:

$$W_{РАСЧ(2)} = \frac{0,236 \cdot 0,2 + 0,208 \cdot (1,2 - 0,2)}{1,2} = 0,213.$$

По отношению к влажности на границе текучести расчётная влажность составляет:  $\frac{0,213}{0,29} = 0,73$ .

3-й тип увлажнения рабочего слоя.

Для 3-го типа увлажнения устанавливаем по формуле (1) величину расчётной влажности грунта в пределах зоны промерзания земляного полотна.

$$W_{РАСЧ(М)} = \frac{1,00}{1,09} \left\{ \frac{1 + 0,0 \left[ 1 - 0,5 \cdot l_g \left( 1 + \frac{10,3}{9,8} \right) \right]}{0,98 \cdot 1,70} - \frac{1}{2,69} \right\} + 0,083 \cdot 0,068 = 0,257.$$

$$\text{В этом слое } \frac{W_{РАСЧ(М)}}{W_L} = \frac{0,257}{0,29} = 0,89.$$

Ниже глубины промерзания влажность грунта равна величине 0,208 (см. выше).

Тогда среднее по глубине значение расчётной влажности грунта рабочего слоя составит:

$$W_{\text{расч(3)}} = \frac{0,257 \cdot 0,2 + 0,208 \cdot (1,2 - 0,2)}{1,2} = 0,216.$$

По отношению к влажности на границе текучести расчётная влажность составляет:

$$\frac{0,216}{0,29} = 0,75.$$

#### **Выводы и рекомендации:**

1. Для достижения требуемой плотности грунты необходимо уплотнять грунтового слоя при влажности не ниже 0,8 и не выше 1,2 от оптимальной при стандартном уплотнении. При влажности, превышающей верхний предел оптимальной влажности, грунт после разравнивания перед укаткой должен подвергаться воздушному подсушиванию. При близких грунтовых водах рекомендуется возводить земляное полотно в сезон наибольшего понижения их уровня, обычно во второй половине лета и осенью до начала дождей.

При недостатке влаги в грунте необходимо:

- а) проводить земляные работы в зимне-весенний период, что особенно эффективно в районах, где выпадает мало осадков и промерзание незначительно;
- б) при невозможности или нецелесообразности проведения в холодное время года всех земляных работ проводить в это время работы на водоразделах, где грунт наиболее быстро теряет влагу;
- в) для сохранения влаги в грунте разрыхлить его в осенний период на полосах местности, отведенных для заложения резервов, на глубину 0,15-0,20 м, а весной по достижении влажностью значения 70-75 % от границы текучести проводить боронование и прокатку поверхности резервов легким катком;
- г) уплотнять грунт немедленно после отсыпки, не растягивая фронта земляных работ и не допуская пересыхания отсыпанного грунта.

#### **Список литературы**

1. *Евгеньев И.Е., Хусаинов И.Ж.* О влиянии микроструктуры глинистых грунтов на изменение его свойств при уплотнении. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве. М.: Стройиздат, 1985. С. 141-143.
2. *Цытович Н.А.* Механика грунтов. Краткий курс. М.: Высшая школа, 1973. 280 с.
3. Методические рекомендации по уплотнению грунтов в засушливых районах Казахстана. Алма-Ата: КаздорНИИ, 1983. 24 с.
4. Пособие по сооружению земляного полотна автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1989. 141 с.
5. СН РК 3.03-19-2006. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа. Астана: Минтранс РК, 2007. 86 с.