

**ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЁТНОЙ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА В ТЕЛЕ
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В УСЛОВИЯХ ЗАСУШЛИВОГО КЛИМАТА****EXAMPLES OF DETERMINING THE ESTIMATED SOIL MOISTURE IN THE
BODY OF THE ROADBED IN THE ARID CLIMATE**

Какыр талаада жана жарым чөлдө жол курууда төшөлгөнү төшөө кадимки шарттардан айырмаланат. Мындай жерлерде кыртыш катмарын тыгыздоодо кыртыштын нымдуулугу талапка жооп бербей өтө кургак болот да, аба ырайынын мезгили өзгөргөн сайын өтө ным болуп кетет. Ушул шарттарга ылайык, кургак климаттуу жерлерде жол курууда топурак каптаманын жумушчу кыртышынын нымдуулугун аныктоонун мисалдары каралды.

Ачык сөздөр: *өтө кургак аймак, кыртыштын нымдуулугу, эсептөө мезгили, кыртышты тыгыздоо коэффициенти, кыртыштын тыгыздыгы, стандарт тыгыздык, кыртыштын суукта көтөрүлүшү.*

При строительстве дорог в пустынной и полупустынной местности условия возведения земляного полотна несколько отличаются от обычных. При уплотнении грунтовых слоев в этой зоне часто встречается дефицит влажности воздуха в грунтовых отложениях, а сезонные изменения приводят к избыточному увлажнению. Исходя из вышеизложенного, в статье рассматриваются примеры 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.*

During the construction of roads in the desert and semi-desert conditions of the construction of the roadbed are somewhat different from the usual. When compacting the layers of ground in this area frequent humidity deficit in soil sediments and seasonal changes lead to excess moisture. Based on the above, the article provides examples of the definition of the working layer of the estimated soil moisture roadbed in arid climate.

Keywords: *arid zone, soil moisture, accounting period, compaction coefficient, the density of the soil skeleton, standard seal, frost heaving soil.*

При строительстве дорог в пустынной и полупустынной местности, характерные для большинства территорий Казахстана, и в районах вечной мерзлоты условия возведения земляного полотна несколько отличаются от обычных и имеют свои особенности, которые необходимо учитывать в проекте организации работ. 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 в 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]:

- 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 выше изложенных, 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 1. 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/м³, коэффициент уплотнения, определенные в лаборатории КазАДИ 0,98.

Конструкция дорожной одежды: асфальтобетон горячий плотный (плотность 2,4 т/м³), толщина 0,05 м; асфальтобетон пористый (плотность 2,3 т/м³), толщина 0,08 м; щебень из гранита (плотность 1,80 т/м³), уложенный по способу заклинки, толщиной 0,2 м; песок средней крупности (плотность 1,95 т/м³), толщиной 0,2 м. 3-й тип увлажнения рабочего слоя.

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

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

$$W_{PACЧ(M)} = \frac{\rho_B}{1.09} \left\{ \frac{1 + l_{ПУЧ} \left[1 - a_{П} l_g \left(1 + \frac{P}{P_o} \right) \right]}{K_y \rho_{СК(MAX)}} - \frac{1}{\rho_{ГР}} \right\} + 0.083 W_{ИЗ}$$

(2)

где $W_{PACЧ(M)}$ – 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_{II} , Па, $P_O=9,8$ КПа; $W_{из}$ – величина незамерзшей воды в грунте по формуле (3), доли единицы.

$$(3) \quad W_{из} = K_{из} W_u$$

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

Величину расчётной влажности грунта при отсутствии промерзания земляного полотна под одеждой следует определять по формулам (4) и (5) [3]:

$$(4) \quad W_{PACЧ(1)} = (W_{ОПТ} + W_{PACЧ(2,3)})/2,$$

$$(5) \quad W_{PACЧ(1)} = (p_{pz} - K_y \cdot p_{ск(max)} \cdot p_B) / K_y \cdot p_{ск(max)} \cdot p_B - V_{ВОЗД},$$

где $W_{PACЧ(1)}$ – влажность грунта в расчётный период при 1-ом типе увлажнения рабочего слоя земляного полотна, доли единицы; $W_{ОПТ}$ – оптимальная влажность грунта, доли единицы; $W_{PACЧ(2,3)}$ – влажность грунта в расчётный период при 2-ом и 3-ем типах увлажнения рабочего слоя земляного полотна, доли единицы. $\rho_{ГР}$ – плотность частиц грунта, т/м³; K_y – нормативное значение коэффициента уплотнения грунта; $\rho_{ск(max)}$ – максимальная плотность скелета грунта по методу стандартного уплотнения, т/м³; ρ_B – плотность воды, т/м³ ($\rho_B=1,0$ т/м³); $V_{ВОЗД}$ – объём воздуха в грунте, доли единицы.

Порядок расчета.

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

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

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

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

1-й тип увлажнения рабочего слоя.

$$\text{Расчёт проводим по формуле: } W_{ДА\tilde{N} \times (1)} = \frac{0,16 + 0,21}{2} = 0,185$$

$$\text{Относительная величина влажности составляет: } \frac{W_{ДА\tilde{N} \times (1)}}{W_L} = \frac{0,185}{0,29} = 0,64$$

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

$$P=(2400 \cdot 0,05+2300 \cdot 0,08+1800 \cdot 0,20+1950 \cdot 0,20) \cdot 0,0098=10,3 \text{ КПа.}$$

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 (2) величину расчётной влажности грунта в пределах зоны промерзания земляного полотна.

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

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

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

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

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 (2) величину расчётной влажности грунта в пределах зоны промерзания земляного полотна

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

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

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

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

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 (2) величину расчётной влажности грунта в пределах зоны промерзания земляного полотна.

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

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

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

Тогда среднее по глубине значение расчётной влажности грунта рабочего слоя составит: $W_{PACЧ(3)} = \frac{0,257 \cdot 0,2 + 0,208 \cdot (1,2 - 0,2)}{1,2} = 0,216.$

По отношению к влажности на границе текучести расчётная влажность составляет: $\frac{0,216}{0,29} = 0,75.$

Пример 2. Определение возвышения поверхности покрытия над уровнем поверхностных и подземных вод.

Исходные данные. Например, дорога III технической категории проходит по орошаемой территории. Расчётный уровень подземных вод залегает от поверхности земли на глубине 0,3 м в летний период и на глубине 1,5 м в осенне-весенний период. В летний период имеет место длительное (более 30 дней) стояние поверхностных вод на полосе отвода, толщина слоя воды 0,05 м. Грунты под дорожной одеждой не промерзают. Остальные исходные данные те же, что и в примере 1.

Алгоритм расчета. Расчёт величины возвышения поверхности покрытия над уровнем грунтовых вод в летний период можно определить таким образом [3]:

$$W_{PACЧ(1)} = W_{ОПТ} + W_{PACЧ(2,3)} / 2. \quad (6)$$

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.

Модуль упругости асфальтобетона горячего плотного – 3200 МПа, толщина слоя 0,05 м. То же асфальтобетона пористого 2000 МПа, толщина слоя 0,08 м. То же щебня из гранита 400 МПа, толщина слоя 0,2 м. То же песка средней крупности 100 МПа, толщина слоя 0,2 м.

$$E_{д.о} = \frac{3200 \cdot 5 + 2000 \cdot 8 + 400 \cdot 20 + 100 \cdot 20}{53} = 792 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости суглинка легкого пылеватого при относительной влажности 0,72 (см. выше) согласно [4] составляет $E_{ГР}=43$ МПа. По той же Инструкции среднее расчётное удельное давление колеса на покрытие $P=0,6$ МПа, а расчётный диаметр следа колеса движущегося автомобиля $D=0,37$ м. Подставляя эти величины в формуле (6) имеем:

$$\Delta H_{п.в} = \frac{37 \cdot \sqrt{\frac{0,6 - 0,012}{1,5 - 0,012}}}{1,1 \cdot \sqrt[3]{\frac{792}{43}}} = 0,73 \text{ м.}$$

Принимая во внимание, что уровень подземных вод в летний период залегает на глубине 0,3 м от поверхности земли высота насыпи должна быть не менее $0,73 - 0,3 = 0,43$ м.

Принимая во внимание, что уровень подземных вод в осенне-весенний период залегает на глубине 1,5 м от поверхности земли высота насыпи должна быть не менее $1,6 - 1,5 = 0,1$ м.

Принимая во внимание, что в летний период имеет место длительное (более 30 дней) стояние поверхностных вод слоем 0,5 м высота насыпи должна быть не менее 0,95 м.

Приведенные требования о возвышении поверхности покрытия над уровнем поверхностных и подземных вод показывают, что высота насыпи должна быть не менее 0,95 м.

Выводы и рекомендации.

1. Для достижения требуемой плотности грунта 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.

2. При возведении насыпи из отвального грунта, разрабатываемого экскаватором, одновременно с устройством коллектора отсыпка грунта сразу на полную высоту насыпи не допускается. Насыпь отсыпают в несколько приемов соответствующим числом экскаваторов, передвигающихся один за другим по берме, причем расстояние между экскаваторами определяют по времени, необходимому для подсушивания и укатки каждого слоя. При этом поперечный профиль коллектора постепенно доводят до проектных размеров.

При необходимости ограничиться одним экскаватором выполняют 2-3 последовательных прохода его вдоль участка возводимой насыпи с остановкой после каждого прохода на время, необходимое для просушивания и укатки ранее отсыпанного слоя грунта.

3. Рытье дрен и коллекторов следует начинать от места выпуска воды в водоток существующий сброс или коллектор и производить вверх по уклону. Не следует

допускать образования отдельных участков дрен и коллекторов с необеспеченным стоком воды.

4. В условиях засушливого климата рациональна отдельная отсыпка верхней части рабочего слоя земляного полотна и его нижней подстилающей части, выравнивающей продольный профиль дороги.

Необходимость устройства подстилающей части земляного полотна обусловлена рельефом местности и требованиями продольного профиля. Нагрузку от транспортных средств нижняя часть насыпи не воспринимает, поэтому требования к ней по плотности значительно снижены. Это позволяет отсыпку указанной части полотна производить в любое время года.

Рабочий слой воспринимает значительные напряжения от подвижной нагрузки и знакопеременные воздействия климатических факторов (промерзание-оттаивание, увлажнение-высыхание), поэтому должен быть прочным и стабильным. Стабильную работу рабочего слоя земляного полотна может обеспечить повышенная плотность пылеватого-глинистого грунта ($K_y > 1$).

5. В засушливых районах наиболее эффективно производить работы по устройству рабочего слоя земляного полотна в период, когда естественная влажность грунта близка к оптимальной. Благоприятным периодом производства земляных работ является: на орошаемых территориях – октябрь-май, на неосвоенных территориях – февраль-май. Для более точного выявления благоприятного периода строят климатический график по ежелекательным значениям (средним за последние 10 лет) температуры воздуха, количества осадков, величины испарения.

6. Выбор средств механизации, обоснование организации и технологии работ по возведению земляного полотна, в том числе рабочего слоя с повышенной плотностью, производят в соответствии с указаниями /5/. Особенность организации и технологии возведения рабочего слоя с повышенной плотностью состоит в увязке уплотняющих средств и технологических параметров (длина захватки, количество проходов, толщина слоя) с интенсивностью испарения влаги. Следует иметь в виду, что планирование работ по устройству рабочего слоя с повышенной плотностью нерационально на период с высокой интенсивностью испарения влаги. В этих условиях достижение требуемой однородной плотности грунтов практически невозможно.

7. Для отсыпки насыпей из боковых резервов применяют бульдозеры, скреперы, грейдер-элеваторы. Толщину отсыпаемых слоев следует выбирать с учётом уплотняющей способности катков, влажности грунтов и требуемого коэффициента уплотнения.

9. Во избежание возможного переувлажнения или пересыхания грунта, а вследствие этого и его частичного разуплотнения, в том числе от набухания, дорожную одежду на участках с повышенной плотностью рабочего слоя следует устраивать вслед за его возведением, не допуская длительных технологических перерывов.

11. При возведении земляного полотна на просадочных лессовых грунтах работы необходимо производить в такой последовательности:

а) разбивка земляного полотна согласно рис. 2б с подготовкой полосы (зоны) предварительного увлажнения в основаниях насыпи для осенне-весеннего накопления влаги;

б) снятие слоя грунта в основании насыпи и складирование его для накопления влаги в более глубоких слоях основания;

в) обратная укладка ранее вынутого грунта (весной после окончания дождей) и его уплотнение с захватом боковых берм;

г) доведение земляного полотна до проектных размеров;

д) тщательная планировка боковых берм и кювет резервов с обеспечением поперечных уклонов и продольного стока воды к водопропускным сооружениям.

Список литературы

1. Евгенийев И.Е. О влиянии микроструктуры глинистых грунтов на изменение его свойств при уплотнении. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве [Текст] / И.Е.Евгеньев, И.Ж.Хусаинов. – М.: Стройиздат. 1985. – с. 141-143.
2. Цытович Н.А. Механика грунтов [Текст]: Краткий курс / Н.А.Цытович. – М.: Высшая школа, 1973. – 280 с.
3. Методические рекомендации по уплотнению грунтов в засушливых районах Казахстана [Текст]. – Алма-Ата: КаздорНИИ. 1983. – 24 с.
4. СН РК 3.03-19-2006. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа [Текст]. – Астана: Минстранском РК, 2007. – 86 с.