

Исследования структурных и фильтрационных свойств глинистых грунтов, используемых при возведении земляного полотна железных дорог

Трикоз Л.В.

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта

The structure of clay soils used in the construction of railway subgrade are analyzed. Three levels of structure are allocated - submicrolevel, microlevel, mesolevel. These levels differ in the size of the particles which they consist. An electric double layer has formed at the interface between the particles and the water. This layer has a negative surface charge that is determined ions OH^- and equal to them one- (K^+ , Na^+) or divalent (Ca^{2+} or Mg^{2+}) cations. Filtering water through a swollen clay will result in a shift of the electrical double layer of each particle, as well as the emergence of streaming potential. It was established experimentally that the magnitude of streaming potential on the railway embankment slope may reach some of a volt. Revealing the actual mechanism of water filtration will predict the behavior of embankment for long term use and to develop measures to prevent strains and injuries.

Техническое состояние земляного полотна, служащего основанием для верхнего строения пути и рассчитанного на длительный срок службы, является одним из главных факторов обеспечения бесперебойного и безопасного движения поездов с установленными скоростями. Однако на устойчивость земляного полотна влияет много факторов, что существенно усложняет прогнозирование возникновения и развития деформаций и повреждений, а это, в свою очередь, приводит к существенным материальным затратам на восстановительные работы, потерям от перерывов в движении поездов, увеличению расходов на содержание пути, снижает уровень безопасности движения. Среди причин, которые вызывают появление дефектов основной площадки и осадок земляного полотна, наиболее весомым является переувлажнение грунтов в силу различных факторов: неудовлетворительное состояние балластной призмы и водоотводных сооружений, использование неподходящих грунтов и их неправильное расположение во время строительства, неудовлетворительное текущее содержание и др. Кроме снижения прочности водонасыщенных грунтов в земляном полотне могут происходить и другие процессы, приводящие к интенсификации возникновения повреждений. По нашему мнению механизм деформирования грунтов земляного полотна необходимо рассмотреть с точки зрения физико-химической механики дисперсных систем, к которым относятся все грунты и строительные материалы. В двухфазных системах, которые содержат в порах свободную воду, уплотнение грунта происходит за счет отжатия воды из пор. Это отжимание происходит тем медленнее, чем ниже водопроницаемость почвы. Процесс уплотнения грунта во времени, вследствие уменьшения влажности (пористости), при постоянном напряженном состоянии называется процессом физической консолидации. Однако даже для полностью водонасыщенных грунтов степень консолидации будет верно отвечать процессу уплотнения только лишь до некоторого значения. При значительном времени уплотнения, который соответствует времени эксплуатации земляного полотна, на процесс консолидации будут влиять новые структурные коллоидные связи и эффекты, обусловленные ползучестью частиц почвы и сжатием их гидратных оболочек.

Анализ структуры минералов глин дает основание представить их как конденсированную дисперсную систему, дисперсная фаза которой представлена частицами минерала, а дисперсионная среда – водой. На границе раздела частиц и воды сформирован двойной электрический слой (ДЭС) с отрицательным поверхностным зарядом из потенциалопределяющих ионов (ПОИ) OH^- и равных им по заряду противоионов одно- (K^+ , Na^+) или двухвалентных (Ca^{2+} или Mg^{2+}) катионов. При небольшом количестве воды противоионы образуют общий слой между частицами, что обуславливает достаточно высокую прочность и камневидное состояние минералов. При увеличении количества воды каждая из частиц

образует свой ДЭС, состоящий из плотной и диффузной частей ДЭС, при этом система становится пластичной или даже текучей в зависимости от количества воды в ней.

Глинистые грунты (глины, суглинки или супеси), состоящие из песчаной и глинистой составляющих, можно рассматривать как полидисперсную систему трех структурных уровней: субмикроразмер (частицы глины размером в среднем 0,068 мкм), микроуровень (размер частиц глины в несколько микрометров) и мезоуровень (частицы пыли и зерна песка размером в десятки и сотни микрометров). Каолинит имеет в основном частицы с размером до 2 мкм и незначительное количество (по объему) намного меньших частиц между ними. При невысокой влажности монтмориллонит имеет частицы несколько меньшие по размеру, однако одного порядка с ними, и также небольшое количество намного меньших частиц. При увеличении влажности монтмориллонитовых глин большие по размерам частицы диспергируются, и глина становится субмикроскопической структуры с размером частиц 45-90 мкм. Согласно современным представлениям слоистая структура кристаллической решетки глинистых минералов представляет собой чередование двухмерных слоев (сеток) кремнекислородных тетраэдров и алюмогидроксильных октаэдров, сочетающихся в основном в виде двух- или трехслойных пакетов. Вторая структурная единица состоит из двух слоев плотно упакованных атомов кислорода или гидроксильных, в которых атомы алюминия, железа и магния расположены в октаэдрической координации таким образом, что каждый из них находится на равном расстоянии от шести атомов кислорода или гидроксильных.

При вхождении воды в прослойку между пакетами вода адсорбируется монослоями по известному механизму полимолекулярной адсорбции с сохранением тетраэдрического строения квазиструктуры воды. При этом происходит разделение заряда на поверхности пакетов и образование плоских ДЭС. Максимальная толщина прослойки воды составляет $\delta_B = 21,4 - 9,4 = 12 \text{ \AA}$ (1,2 нм). Этому соответствуют 2 слоя потенциалоопределяющих ионов O^{2-} и 5 слоев молекул воды, с расположением в среднем слое противоионов Ca^{2+} или Na^+ . Толщина такого слоя равна $(2 \cdot 2,8 + 5 \cdot 2,8) \cdot \cos 52,5^\circ = 19,6 \cdot 0,61 = 11,96 = 12 \text{ \AA}$, где $52,5$ – половина угла в тетраэдрической квазиструктуре воды. По существу, между пакетами, на поверхности которых находятся гидратированные ПОИ O^{2-} , образуется общий слой гидратированных противоионов (ПРИ) Ca^{2+} или Na^+ . Если бы происходило дальнейшее увеличение количества воды в прослойках между пакетами, каждый из них приобрел бы свой ДЭС, что привело бы к отталкиванию противоионов по механизму расклинивающего давления между противоионами. Вместе с ДЭС между пакетами формируются ДЭС и на поверхности частиц монтмориллонита, с той лишь разницей, что каждая частица имеет свой ДЭС. При этом между частицами возникает отталкивание диффузных частей ПРИ и они отталкиваются. После достижения слоев воды толщины, при которой исчезает поле поверхности, появляется свободная вода, и глина переходит в текучее состояние.

Исходя из изложенного, фильтрация воды через набухшую глину будет приводить к смещению ДЭС на каждой частице и в межпакетной прослойке, а также к возникновению потенциала течения. Экспериментально установлено, что величина потенциала течения на откосе железнодорожной насыпи может достигать сотых долей или даже единиц вольт. Следовательно, выяснение истинного механизма фильтрации воды через глинистые грунты и происходящих при этом физико-химических процессов, позволит прогнозировать поведение насыпей при длительной эксплуатации и разработать мероприятия по предупреждению деформаций и повреждений.