

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

А.А.ДАВЫДОВ
E.mail. ksucta@elcat.kg

Макалада автомобиль транспортунун жумушунун натыйжалуулугун жогорулатуу үчүн автомобиль жолдорун долборлоо багытында нормативдик документтерди өркүндөтүү маселелери каралган.

В статье рассматриваются вопросы совершенствования нормативных документов в области проектирования автомобильных дорог для повышения эффективности работы автомобильного транспорта.

This article is devoted to the problems of standard documents improving in the sphere of automobile roads projecting for increasing automobile transport work efficiency.

Современные требования экономической целесообразности обуславливают необходимость применения при международных и междугородных перевозках большегрузных автотранспортных средств. Ограничения на их проезд или взимание платы за сверхнормативный вес снижают транзитную привлекательность территории республики. В настоящее время главной проблемой автомобильных дорог остается их неудовлетворительное эксплуатационное состояние /1/. Географические особенности Казахстана на его обширной территории, отсутствие выхода к внешним морям, неравномерное размещение населенных пунктов и природных ресурсов делают его экономикой одной из наиболее грузоемких в мире, обуславливая высокую зависимость от транспортной системы, что в значительной степени влияет на конкурентоспособность товаров, производимых в Казахстане, так как в стоимости товаров присутствует очень большая транспортная составляющая. Как показывает статистика последних лет, доля транспортных затрат в конечной стоимости продукции находится на уровне 8...11 % для внутренних автомобильных перевозок, тогда как в странах с развитой рыночной экономикой данный показатель составляет всего 4...4,5 %. По показателю грузоемкости экономика Казахстана почти в пять раз менее эффективна, так как на каждую единицу ВВП в долларовом исчислении приходится не менее 9 т-км транспортной работы, в странах ЕС грузоемкость – менее 1 т-км/долл. ВВП.

Вместе с тем, несмотря на общую адаптацию транспорта к рыночным условиям, состояние и уровень качества транспортной системы во всех ее всех компонентах нельзя считать оптимальным /2/.

Исключительное значение сеть автомобильных дорог приобретает для Восточно-Казахстанской области (ВКО) со слабо развитыми железнодорожными перевозками. Первостепенным народнохозяйственным значением автомобильных дорог ВКО является обеспечение регулярного автомобильного сообщения между Республикой Казахстан, Республикой Алтай, сибирским регионом России, Монголией, Китайской Народной Республикой. Протяженность сети автомобильных дорог республиканского значения, включая международные коридоры на территории ВКО, составляет 4371 км. Автомобильная дорога, которая соединяет Россию и Китай, проходит по территории ВКО через так

называемую Зайсанскую низменность (котловину). Для этого региона характерным являются низкие температуры в зимний период и высокие температуры в летний период. В весенний период наблюдаются обширные подтопления значительных территорий.

Дорожные коммуникации находятся в непосредственной близости от озера Зайсан, уровень воды в котором подвержен значительным сезонным колебаниям. Озеро Зайсан расположено на востоке Казахстана в открытой высокой и плоской долине между горными хребтами: с северо-востока Алтайским, с северо-запада Колбинским и с юга Тарбагатайским. Граница КНР проходит на расстоянии 60 км от восточного берега озера, с китайской стороны течет и впадает в озеро Зайсан река Черный Иртыш. Озеро Зайсан находится на высоте 420 м, его длина составляет 105 км, а ширина – 22...48 км, максимальная глубина – 15 м. Озеро покрывается льдом в ноябре и вскрывается в конце апреля. Дно озера Зайсана иловато, местами песчано и покрыто мелкой галькой. Берега озера низкие, заросшие на большом пространстве от воды камышом. До сооружения Бухтарминской ГЭС на реке Иртыш площадь озера составляла 1800 км², длина – 111 км, ширина около 30 км, глубина в среднем 4...6 м (наибольшая глубина около 10 м). После сооружения плотины озеро Зайсан находится в подпоре, который распространился также и по Черному Иртышу на 100 км, уровень Зайсана поднялся на 7 м. Площадь зеркала озера составляет большую часть площади водного зеркала Бухтарминского водохранилища, равной 5,5 тыс. км².

В связи с этим гидрологический фактор в проектировании дорог в данном районе приобретает исключительное значение, так как он определяет, в том числе, прочность и водоустойчивость грунта и дорожного полотна, причем под водоустойчивостью в данном случае следует понимать сопротивление грунта прониканию в него воды или размыванию его водой. Можно также определить водоустойчивость как свойство грунта сохранять прочность при колебании влажности в значительных пределах. Таким свойством обладают, как известно, пески и вообще крупнозернистые грунты.

Устойчивость грунта в полотне необходимо рассматривать в обстановке воднотеплового режима данного района. Один и тот же грунт в разных районах и участках дороги будет обладать разной устойчивостью. Поэтому при проектировании и возведении дорожного полотна общее принципиальное решение, установленное для типовых условий данной трассы, необходимо изменять в порядке рабочего проектирования для отдельных участков в зависимости от изменяющихся свойств грунта и других условий, что предъявляет требование районирования ландшафта, а вместе с ним и геофизических факторов проектирования, строительства и эксплуатации дорог. Это дает возможность разработки принципов, методов и конструкций дорожного строительства применительно к различным геофизическим районам.

Обеспечение устойчивости дорожных сооружений (дорожных покрытий и земляного полотна) зависит от весьма сложного многофакторного взаимодействия грунтов полотна с водой при разных температурах. Поэтому воднотепловой режим местности является основной предпосылкой для дорожно-климатического районирования, и его исследование и является обязательным условием в проектировании и строительстве дороги. Для такого районирования используются данные климатологии, гидрологии, геоморфологии, геологии и грунтоведения.

Проведенные литературные исследования и эксперименты в условиях Рудного Алтая подтверждают предположение о сильной изменчивости гидрологических и погодных условий в зонах пролегания дорог по всей территории Рудного Алтая и Калбы.

Важное значение в методике проектирования дорог в «призайсанском» районе приобретает статистический фактор. Применяемые в расчетах устойчивости показатели физико-механических свойств пород в общем случае являются оценками их математических ожиданий. В связи с этим уместно поставить вопрос о допустимой вариации расчетных

показателей физико-механических свойств пород при их испытании и влиянии неточности определения этих показателей на результаты расчетов устойчивости откосов.

Поэтому существующие рекомендации для проектирования дорог в указанных зонах не отвечают требованиям, и, как показали результаты исследований, необходимо провести дополнительное изучение с целью выявления статистических свойств гидрогеологических условий и физико-механических показателей материалов на примере определенного участка дороги этого района. На основании полученных статистических материалов провести исследование влияния вариаций расчетных показателей проектирования на качество дороги и предложить рекомендации к проектированию дорог на конкретном участке

Рассматриваемые нами участки дорог находятся в особенно сложных гидрогеологических условиях и довольно часто подвергаются капитальному ремонту. При этом в течение всего года эти дороги являются важными транспортными артериями, по которым осуществляется большой грузооборот. Вдоль таких дорог на время капитального ремонта бывает трудно устраивать объездные пути, что ведет к экономическим потерям при транспортных перевозках грузов.

Первым этапом исследований ставились задачи изучения геологии местности и типов грунтов, включая их физико-механические характеристики, месторождения строительных материалов и водных режимов в зонах пролегания исследуемых участков дорог.

Вопрос о вариации показателей физико-механических свойств пород решался экспериментально. Для этого было произведено испытание 157 образцов 10 типов горных пород, по результатам которых с применением методики ВНИМИ были построены их паспорта прочности. В соответствии с рекомендациями методики испытания образцов производились при следующих отношениях их высоты к диаметру 2,0; 1,5; 1,0; 0,5 и 0,3. Исследования проводились на примере сети автомобильных дорог ВКО, особенно ее части, пролегающей к зонам водохранилищ, озер и горных массивов. При этом также использовались данные Восточно-Казахстанского филиала РГКП «Каздопроект» и ДГП «ВНИИцветмет». Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Вариация гидравлических параметров

Наименование грунта	Гидравлический градиент J	Угол наклона кривой депрессии α
Крупнообломочные грунты	0,003...0,006	0,0015...0,003
Песчаные грунты	0,006...0,020	0,003...0,010
Супесчаные грунты	0,020...0,050	0,010...0,026
Суглинки	0,050...0,100	0,026...0,053
Глинистые грунты	0,100...0,150	0,053...0,081
Торфянистые грунты (в зависимости от вида и степени разложения)	0,020...0,120	0,010...0,064

Для каждого района должна быть разработана схема типового (расчетного) воднотеплового режима на основе учета источников увлажнения, годового хода температур и водного баланса грунтов полотна в условиях среднего максимального по увлажнению года и метода проектирования устойчивости автомобильных дорог.

В качестве метода проектирования устойчивости автомобильных дорог был выбран метод Феллениуса /3, 4/, который наиболее полно учитывает в дорожном проектировании влияние гидрогеологических факторов в комплексе с физико-механическими свойствами строительных материалов.

Для проведения расчета устойчивости данный метод предполагает разбиение откоса дорожного полотна на отсеки. Расчеты устойчивости откоса в этих случаях выполняются с учетом сил взвешивания для подтопленной части грунтового массива. При этом учитывают, что на каждый i -й отсек действуют:

удерживающая сила

$$P_{yoi} = \left(\sum_{j=1}^n G_{ij} \right) \cos(\alpha_i) \operatorname{tg} \varphi + CL_i \quad (1)$$

сдвигающая сила

$$P_{c oi} = \left(\sum_{j=1}^m G_{ij} \right) \sin(\alpha_i), \quad (2)$$

где G_{ij} – вес j -ой призмы грунта в пределах i -го отсека с учетом временной нагрузки, заменяемой эквивалентным слоем грунта; α_i – угол наклона поверхности скольжения в пределах i -го отсека; φ – угол внутреннего трения грунта на поверхности скольжения; C – сцепление грунта на поверхности скольжения; L_i – длина дуги скольжения в пределах i -го отсека.

Рассматривая насыпь единичной длины, вес j -й призмы i -го отсека можно вычислить: для сухой части насыпи

$$G_{ij} = \Omega_{ij} \cdot \gamma_j, \quad (3)$$

для водонасыщенной части насыпи

$$G_{ij} = \Omega_{ij} (\gamma_j - 1) \frac{100 - n_j}{100}, \quad (4)$$

где Ω_{ij} – площадь j -ой призмы i -го отсека; γ_j – объемный вес грунта j -го геологического слоя; n_j – пористость грунта j -го геологического слоя.

Гидродинамическое давление для подтопленной части насыпей:

$$D = \Omega_B \gamma_B J, \quad (5)$$

где Ω_B – площадь массива обрушения ниже уровня грунтовых вод; $\gamma_B = 1$ – (объемный вес воды); J – гидравлический градиент, принимаемый равным тангенсу хорды, стягивающей кривую депрессии.

Коэффициент устойчивости земляного полотна в общем случае будет определяться следующим выражением:

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\left(\sum_{j=1}^m G_{ij} \right) \cos(\alpha_i) \operatorname{tg} \varphi + CL_i \right]}{D + \sum_{i=1}^n \left[\left(\sum_{j=1}^m G_{ij} \right) \sin(\alpha_i) \right]} \quad (6)$$

Детальный расчет устойчивости откосов земляного полотна необходимо выполнять в следующей последовательности:

определяют уравнение прямой Феллениуса, вблизи которой располагаются центры наиболее опасных кривых скольжения;

исследуемый массив земляного полотна делят на n вертикальных отсеков шириной ΔX , каждый (обычно $n=10..20$) и на m слоев в соответствии с положением границ раздела геологических напластований и кривой депрессии (в случае подтопленной насыпи);

задаются в первом приближении положением центра кривой скольжения на пересечении ординаты, восстановленной из подошвы откоса с прямой Феллениуса. Радиус кривой скольжения определяется значением ординаты полученного центра;

по формуле (6) находят значение коэффициента устойчивости K_p ;

с шагом ΔX меняют положение центра влево по прямой Феллениуса и при новом положении центра кривой скольжения вычисляют значение коэффициента устойчивости K_p ;

если $K_p < K_n$, то с шагом ΔX ищут на прямой Феллениуса положение центра кривой скольжения с минимальным значением коэффициента устойчивости;

если $K_p > K_n$, то меняют положение центра скольжения с шагом ΔX вправо до тех пор, пока не будет установлено положение центра кривой скольжения, но уже по нормали к прямой Феллениуса в найденной ранее точке влево с шагом Δu , и по формуле (6) вычисляют значение коэффициента устойчивости K_p ;

если $K_p < K_n$, то с шагом Δu влево ищут положение центра кривой с минимальным K_p . Если же $K_p > K_n$, то с шагом Δu ищут положение наиболее опасного центра вправо от прямой Феллениуса;

найденное таким образом минимальное значение коэффициента устойчивости является расчетным для данного откоса земляного полотна K_p . Его сравнивают с нормативным $K_p \geq K_n$ и, если оказывается, что $K_p \geq K_n$, то устойчивость земляного полотна обеспечена. Если $K_p < K_n$, то необходимо изменить конструкцию земляного полотна с целью повышения устойчивости откоса и вновь вышеизложенным способом выполнить проверку устойчивости новой конструкции.

Список литературы

1. Бекмагамбетов М.М. Проблемы развития автомобильного и городского транспорта Республики Казахстан. – Алматы: «Print-S», 2009. – 520 с.
2. Транспортная стратегия Республики Казахстан до 2015 года / Утверждена указом Президента Республики Казахстан № 86 от 11 апреля 2006 г.
3. Автомобильные дороги: Примеры проектирования. Учебное пособие для вузов / Под ред. В.С. Порожнякова. – М.: Транспорт, 1983. – 303 с.
4. Изыскания и проектирование автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника / Под ред. О.В. Андреева. – М.: Транспорт, 1989. – 559 с.