

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 1680-9165

№ 4 (2020)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ63VPY00028965

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация результатов фундаментальных и прикладных научных исследований
по широкому спектру проблем в области металлургии, машиностроения, транспорта,
строительства и естественных наук

Подписной индекс – 76129

Импакт-фактор РИНЦ – 0,344

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Гумаров Гали Сагингалиевич – д.т.н., профессор (Уральск, Казахстан);
Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Украинец Виталий Николаевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич - к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Жажибаева Галия Тулеуевна - к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Lapuerta – д.т.н., профессор (СьюДад Исаева КуралайСметкановна Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Бочкарев Петр Юрьевич – д.т.н., профессор (Саратов, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Чайкин Владимир Андреевич – д.т.н., профессор (Магнитогорск, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

А. Д. Омаров¹, Т. С. Саржанов², Г. С. Мусаева³

^{1,2}Казахский университет путей сообщения,

Республика Казахстан, г. Алматы;

³Казахская академия транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева,

Республика Казахстан, г. Алматы

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Железнодорожный путь является основой железнодорожного транспорта. Выбор конструкции пути, мощности рельсов, типа скреплений, конструкции и количества укладываемых на километр шпал, род и толщина балластного слоя определяется, в основном, грузонапряженностью, допускаемыми скоростями движения и осевыми нагрузками подвижного состава. Работа земляного полотна и его основания в условиях роста грузонапряженности, осевых нагрузок, скоростей движения поезда все более осложняется.

Таким образом, вопросы обеспечения высокого уровня надежности железнодорожного пути и долговременной стабильности его основания являются актуальными. В статье рассмотрены вопросы расчета устойчивости и прочности земляного полотна.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, железнодорожный путь, земляное полотно, повышение нагрузок, грузонапряженность, устойчивость, прочность.

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение провозной и пропускной способности, повышение эффективности работы АО «НК «Қазақстан темір жолы» для удовлетворения социально-экономических потребностей общества в условиях рыночных отношений связаны с дальнейшим развитием сети железных дорог, в том числе в регионах со сложными природными условиями, строительством скоростных линий, вторых путей, с ростом грузонапряженности, осевых нагрузок, скоростей движения поезда на эксплуатируемых железных дорог, и могут быть обеспечены при высоком уровне надежности железнодорожного пути и долговременной стабильности его основания – земляного полотна.

Работа земляного полотна и его основания в условиях повышения нагрузок на оси, скоростей движения и грузонапряженности, применения новых прогрессивных конструкций верхнего строения пути (бесстыковый путь, железобетонное подрельсовое основание) и незащищенности его от непосредственного воздействия природно-климатических факторов все более осложняется.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Стабильность земляного полотна определяются его устойчивостью и прочностью. Расчеты устойчивости определяют условия сопротивления грунта деформациям сдвига, а расчеты прочности – сопротивляемость грунтов деформациям уплотнения, причем оба вида этих расчетов неразрывно связаны между собой. Стабильность земляного полотна зависит от вида и состояния слагающих его грунтов. Основными показателями качества грунтов являются сдвиговые характеристики – угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c , а также плотность и влажность.

Тело земляного полотна находится в напряженном состоянии, обусловленном влиянием внешних сил и собственного его веса. Когда напряжения в грунте превышают определенный предел, возникают остаточные деформации в виде смещения объема грунта как единого целого.

Практические методы расчета устойчивости подразделены на две группы: графо-аналитические и аналитические. Графо-аналитические методы расчета нашли более широкое практическое применение.

Обследованием большого числа натуральных оползней и просто сползших откосов установлено, что поверхность смещения земляных масс в однородных связных близка к круглоцилиндрической. В сыпучих грунтах поверхность смещения близка к плоскости. Поэтому во всех графо-аналитических расчетах, относящихся к однородным грунтам, предполагают, что смещение грунтов при потере устойчивости происходит по круглоцилиндрической поверхности.

Аналитические способы расчета устойчивости откосов земляного полотна для отдельных задач могут быть весьма эффективными. В бывшем СССР такие способы были разработаны В. В. Соколовским, Г. М. Шахунянцем, А. Г. Дорфманом и др. [1, 2, 3]. Способ В. В. Соколовского очень сложен и требует большой вычислительной работы, поэтому он не получил на практике широкого распространения. Способ Г. М. Шахунянца [1, 4, 5, 6, 7] оказался очень удобным и простым для случаев, когда за откосом выемки расположена бесконечная площадка.

Критическое положение плоскости обрушения, при котором коэффициент устойчивости принимает минимальное значение K_{\min} , определяется последовательным изменением угла β (рисунок 1) или по формуле:

$$K_{\min} = (2U_0 + f)/\operatorname{tg}\alpha + 2 \sqrt{(U_0^2 + U_0 f) / (U_0^2 + U_0 f) / \sin\alpha}, \quad (1)$$

где $U_0 = 2c/\gamma H$;

c – удельное сцепление;

γ – объемный вес грунта;

H – высота откоса;

f – коэффициент внутреннего трения грунта, равный $f = \operatorname{tg}\varphi$,

φ – угол внутреннего трения грунта;

α – угол наклона откоса выемки к горизонту.

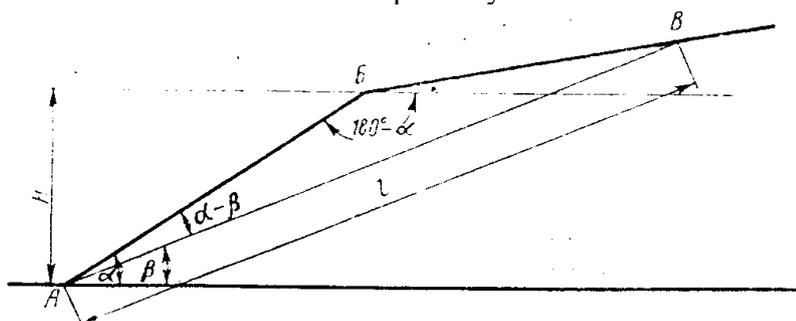


Рисунок 1 – Схема аналитического расчета устойчивости откоса выемки

Представляет практический интерес вариационный метод расчета устойчивости откосов, разработанный А.Г. Дорфманом [3]. Расчет сводится к исследованию на экстремум коэффициента устойчивости как выражения (функционала), зависящего от выбора кривой скольжения и параметров (геометрических и геотехнических) расчетной схемы откоса. Форму линий скольжения заранее не назначают, т.е. опаснейшую линию отыскивают среди всевозможных кривых, а не только среди прямых, окружностей и т.д. При этом отпадает необходимость в поиске критического центра (рисунок 2).

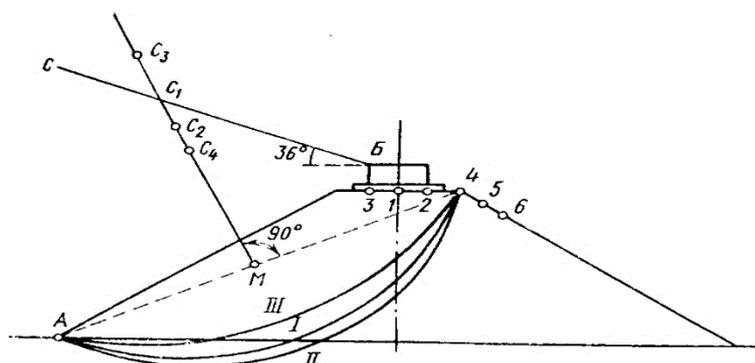


Рисунок 2 – Схема построения линии центров кривых обрушения

Метод позволяет достаточно просто и единообразно рассчитывать откосы при произвольном очертании свободной поверхности, при слоистом строении, на прочном или слабом основании, при действии внешних местных нагрузок, сейсмических, фильтрационных сил т.д. Для наиболее часто встречающихся случаев откосов и нагружений составлены алгоритмы расчетов, легко выполнимых на ЭВМ. Для расчетов устойчивости однородных откосов произвольного профиля разработано портативное аналоговое устройство, дающее на экране осциллографа искомую поверхность скольжения.

Для случаев произвольной однородной насыпи способ вариационного расчета устойчивости, предложенный А. Г. Дорфманом [3], сводится к

следующему. Коэффициент устойчивости K рассматривают как отношение работы удерживающих сил к работе сдвигающих сил и записывают в виде:

$$K = \int_0^{x_n} F dx / \int_0^{x_n} \Phi dx \quad (2)$$

где

$$F = (\hat{y} - y) \operatorname{tg} \varphi + c(1 + y'^2)/\gamma; \Phi = (\hat{y} - y)y', \quad (3)$$

$y = \hat{y}(x)$ – уравнение контура насыпи (c приведенной нагрузкой),

$y = y(x)$ – уравнение линии скольжения,

причем $y_n = \tilde{y}$, если $a < x_n \leq b$ и $y_n = y_n = \hat{y}(x_n)$, если $x_n > b$ или $x_n \leq a$;

x_n, y_n – координаты конца кривой скольжения (начало координат принято на подошве откоса);

\tilde{y} – ордината основной площадки земляного полотна;

a и b – абсциссы, ограничивающие нагрузку на основную площадку земляного полотна.

Уравнение искомой (критической) линии скольжения $y = y(x)$ в развернутом виде имеет вид:

$$y = 0,5\gamma/c \left[t \int_0^x y dx - 0,5x^2 \operatorname{tg} \varphi + Gx \right] \quad (4)$$

$$\text{где } t = \frac{x_n}{0} \{ 2c/\gamma(x_n y_n') + 0,5x_n^2 \operatorname{tg} \varphi \} / \{ x_n \hat{y}_n - \int \hat{y}_n dx \}; \quad (5)$$

$$G = 2cy_n'/\gamma + x_n \operatorname{tg} \varphi - t\hat{y}_n; \quad (6)$$

Причем

$$y_n = \begin{cases} \sqrt{(1 + (y_n - \tilde{y})v)} & \text{при } a < x_n \leq b, v = \gamma \operatorname{tg} \varphi / c \\ y_n' + \sqrt{(y_n'^2 + 1)} & \text{при } x_n > b \text{ или } x_n \leq a \end{cases} \quad (7)$$

В уравнениях (5), (6) и (7) все величины известны, кроме x_n . Значение x_n находится из уравнения:

$$I(x_n) = \int_0^{x_n} (F - t\Phi) dx = 0 \quad (8)$$

Найденное значение соответствует критической кривой скольжения, для которой (2):

$$t = K, \quad (9)$$

где K – искомый критический коэффициент устойчивости.

Заканчивая краткий обзор известных методов оценки устойчивости склонов и откосов, необходимо обратить внимание на то, что сами методы испытания грунтов с целью определения угла внутреннего трения φ и сцепления с весьма несовершенны. Вот что отмечали, например, М. Н. Гольдштейн и П. Я. Гольденберг [8]: «Испытания в сдвижных приборах дают завышенные значения прочности, так как в них нельзя осуществить закрытую недренируемую систему, как в стабилometре;... разница тем больше, чем выше нормальное давление и показатель консистенции. Например, при испытаниях грунтов, имеющих одинаковые исходные параметры, получено: в стабилometре $c = 0$; $\varphi = 20^\circ$; на сдвижном приборе $c = 0,3$; $\varphi = 27^\circ$ ». А ведь нас интересуют именно грунты с высокими показателями консистенции. Заметим, однако, что испытания в стабилometрах, возможно, и дают более верные результаты по сравнению с испытаниями в сдвижных приборах, но, как отмечал Н. Я. Денисов [9], это происходит не всегда и даже не в большинстве случаев.

В [10] изложены исследования А. Д. Омарова по определению теоретических законов распределения основных физико-механических и химических характеристик наиболее распространенных в Казахстане грунтов. А. Д. Омаровым, Р.С. Закировым и др. [11] выполнена привязка полученных данных к СНиП 2.02.01.83 и к дорожно-строительному районированию территории Казахстана, данному в СН 229-72 и, расширенному ими. В качестве примера приводим таблицу Б.11 статистических физико-механических характеристик грунтов при строительстве ЖД в южных районах Казахстана (в пятой засушливой зоне по СН 449-72).

Как видно из исследования [11], угол внутреннего трения супеси, суглинка и глины по данным А.Д. Омарова значительно отличается от норм СНиП 2.02.01.83 в большую сторону, а для песка нормативные и экспериментальные данные совпадают. Аналогичный вывод можно сделать и для удельного сцепления вышеперечисленных грунтов.

ВЫВОДЫ

На основании изложенного выше, можно заключить, что известные методы определения устойчивости откосов, например, земляное полотно,

довольно условны и ненадежны. Получаемые результаты могут быть признаны удовлетворительными только для высокопластичных однородных грунтов при $\varphi = \text{const}$ и $c = \text{const}$, т.е. для умеренной климатической полосы. Поэтому назрела необходимость пересмотра положений, на которых базируются указанные методы. Это относится к безоговорочному принятию практически для всех случаев теории разрушения грунтов только от касательных напряжений, к допущению о полной зависимости Куст откоса только от положения в пространстве раз и навсегда принятой круглоцилиндрической или близкой к ней поверхности разрушения. Несоответствие действительных и теоретических поверхностей разрушения давно отмечено Н. Н. Масловым [12], который указал, что нельзя при расчете устойчивости откоса принимать круглоцилиндрическую поверхность разрушения, если геологическое строение откосного массива грунта указывает на какую-либо другую. То же самое можно сказать и о случае, когда на некоторую поверхность разрушения, отличную от круглоцилиндрической, будут указывать факторы сезонных изменений прочностных характеристик грунтов откосного массива, или конфигурация поверхности разрушения будет предопределена уменьшением прочности грунта в пределах какого-то блока земляного полотна вследствие появления внутри откосного массива грунта источника подземной воды, то есть изменением состояния грунта основания блока земляного полотна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Шахуняц, Г. М.** Земляное полотно железных дорог. – М. : Трансжелдориздат, 1953. – 828 с.
- 2 **Соколовский, В. В.** Статика сыпучей среды. – М. : Гостехиздат, 1954. – 276 с.
- 3 **Дорфман, А. Г.** Вариационный метод исследований устойчивости откосов // В сб. : Вопросы геотехники. – М. : Транспорт, 1965. – Вып. 9. – С. 135.
- 4 **Фришман, М. А., Хохлов, И. Н., Титов, В. П.** Земляное полотно железных дорог. – М. : Транспорт, 1972. – 288 с.
- 5 **Казакбаев, К. К., Смирнов, С. Н.** Устойчивость откосов выемок на косогорах. – Ташкент : Фан, 1975. – 128 с.
- 6 **Шахуняц, Г. М.** Железнодорожный путь: Учебник для вузов ж.-д. трансп. – 3 изд. перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1987. – 479 с.
- 7 **Яковлева, Т. Г. и др.** Основы устройства и расчетов железнодорожного пути / Под ред. С.В. Амелина. – М. : Транспорт, 1990. – 367 с.
- 8 **Гольдштейн, М. Н., Гольденберг, П. Я.** О прочности лессовидных грунтов // Гидротехническое строительство. – 1958. – № 4. – С. 9-21.
- 9 **Денисов, Н. Я.** Принцип эффективных напряжений и устойчивость глинистых грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1963. – № 2. – С. 25-31.
- 10 **Омаров, А. Д.** Грунтовый фон оснований железных дорог Казахстана / Под ред. д-ра техн. наук проф. Кабашева Р. А. – Алматы : Ғылым, 1998. – 110 с.

11 **Омаров, А. Д., Закиров, Р. С., Лесов, К. С.** Проектирование, строительство и содержание железнодорожного пути в Казахстане: Учебное пособие / Под ред. Р. С. Закирова. – Алматы : Бастау, 2000. – Ч. 1. – 212 с.

12 **Маслов, Н. Н.** Прикладная механика грунтов. – М. : Машстройиздат, 1949. – С. 9.

Материал поступил в редакцию 21.12.20.

А. Ж. Омаров¹, Т. С. Саржанов², Г. С. Мусаева³

^{1,2}Қазақ қатынас жолдары университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

³М. Тынышбаев атындағы Қазақ көлік және коммуникациялар академиясы,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал 21.12.20 баспаға түсті.

ЖОЛ ТӨСЕМЕСІНІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ЕСЕПТЕУДІҢ КЕЙБІР МӘСЕЛЕЛЕРІ

Теміржол трассасы – теміржол көлігінің негізі болып табылады. Жол құрылысын таңдау рельстің беріктігін, бекіткіштердің түрін, километрге төселген шпалдардың құрылымын және санын, балласт қабатының түрі мен қалыңдығын таңдау негізінен жүктеме қарқындылығымен рұқсат етілген жылдамдықтары және осьтік жүктемелерімен анықталады.

Осылайша, теміржол жолдарының сенімділігінің жоғары деңгейін және оның іргетасының ұзақ мерзімді тұрақтылығын қамтамасыз ету мәселелері өзекті болып табылады. Мақалада жол төсемесінің тұрақтылығы мен беріктігін есептеу мәселелері қарастырылған.

Кілтті сөздер: теміржол көлігі, темір жол трассасы, жол төсемесі, жүк қарқындылығы, жүк тығыздығы, тұрақтылық, беріктік.

A. D. Omarov¹, T. S. Sarzhanov², G. S. Musayeva³

^{1,2}Kazakh University Ways of Communications,

Republic of Kazakhstan, Almaty;

³M. Tynyshpayev Kazakh Academy of Transport and communications,

Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 21.12.20.

SOME QUESTIONS OF STABILITY CALCULATION ROADBED

The railway track is the basis of railway transport. The choice of track design, rail capacity, and type of fastenings, construction and number of sleepers laid per kilometer, the type and the load, permissible speeds and axial loads of the rolling stock, mainly determines thickness of the ballast layer. The work of the roadbed and its base in the conditions of increasing load, axial loads, and train speeds is becoming more and more complicated.

Теруге 29.12.20. ж. жіберілді. Басуға 10.01.21. ж. қол қойылды.
Форматы 297*420/2. Кітап-журнал қағазы.
Шартты баспа табағы 6,04. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген З. С. Исакова
Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3721

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69

e-mail: kereku@psu.kz
www.vestnik.psu.kz
www.nitk.psu.kz