

Базанова И.А. доктор технических наук, профессор;
Қаржаубай М.Ш. магистр
*«Казахский национальный аграрный исследовательский университет»,
г. Алматы, Республика Казахстан*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОТИВООПОЛЗНЕВЫХ СООРУЖЕНИЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЗЕМЛЕРОЙНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. В статье рассматриваются современные методы проектирования противооползневых сооружений для защиты транспортной инфраструктуры на оползнеопасных склонах Восточного Казахстана. Выполнен анализ основных типов противооползневых конструкций с учетом воздействия землеройной техники. Предложена методика расчета устойчивости склонов, учитывающая статические и динамические нагрузки, а также сформулированы рекомендации по повышению надежности инженерной защиты.

Abstract. The article considers modern methods for designing landslide protection structures for transport infrastructure on landslide-prone slopes in Eastern Kazakhstan. An analysis of the main types of landslide protection structures is carried out, taking into account the impact of earthmoving machinery. A method for calculating slope stability is proposed, considering static and dynamic loads, and recommendations are formulated for improving the reliability of engineering protection systems.

Ключевые слова. Противооползневые сооружения, транспортная инфраструктура, землеройная техника, экскаваторы, бульдозеры, устойчивость склонов, инженерная защита, коэффициент устойчивости, Восточный Казахстан.

Keywords: Landslide protection structures, transport infrastructure, earthmoving machinery, excavators, bulldozers, slope stability, engineering protection, stability coefficient, Eastern Kazakhstan.

Транспортная инфраструктура горных и предгорных районов Казахстана подвержена воздействию оползневых процессов, представляющих угрозу для дорог, мостов и инженерных сооружений [1]. В Восточном Казахстане развитие оползней усиливается из-за сложных природных условий и сезонных изменений [2].

Для защиты транспортной инфраструктуры применяются инженерные методы, включающие армирование грунта, дренажные системы и противооползневые сооружения различных типов [1, 2, 3].

Однако при проектировании недостаточно учитывается влияние эксплуатационных нагрузок от землеройной техники, используемой при расчистке склонов и строительстве защитных конструкций [6, 7].

Основные типы сооружений включают рамные, стержневые, свайно-анкерные, холмообразные и крестообразные конструкции. Каждый тип имеет свои преимущества и ограничения, а выбор зависит от геологических условий, степени опасности и назначения объекта [2][3].

Современные методы проектирования позволяют учитывать динамику оползневых процессов и обеспечивать долговечность сооружений, снижая затраты на ремонт и поддержание инфраструктуры. Интеграция инженерных и природных методов закрепления склонов (например, посадка деревьев и кустарников в треугольных ячейках рамных сооружений) повышает устойчивость защитных объектов [1][4] [8].

Конструкции противооползневых сооружений. Рамные сооружения

Рамные сооружения собираются с помощью кольцевых шайб и монолитных железобетонных стоек, заделанных в фундаменты. В середине треугольных ячеек высаживаются деревья и кустарники, что дополнительно закрепляет верхний слой грунта. Такие конструкции эффективно защищают локальные дороги, мелкие складские помещения и поля от оползней [1][3].

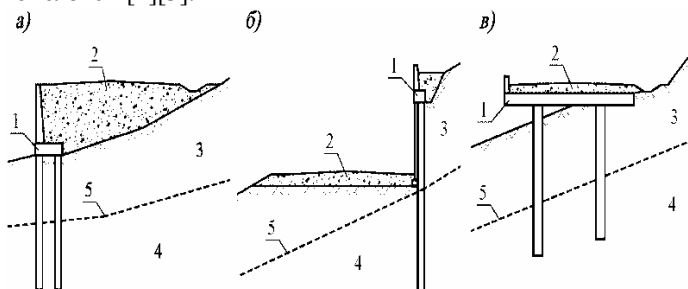


Рисунок 1 – Схема взаимодействия транспортной инфраструктуры, противооползневых сооружений и землеройной техники [8]

Давление техники на склон учитывается при проектировании фундамента, что повышает устойчивость сооружения [6][7].

Подземные и свайно-анкерные сооружения применяются на протяжённых участках автомобильных и железных дорог, где устройство сплошных противооползневых конструкций является экономически и экологически нецелесообразным. Такие системы обеспечивают устойчивость склонов при длительных статических и динамических нагрузках [1][4].

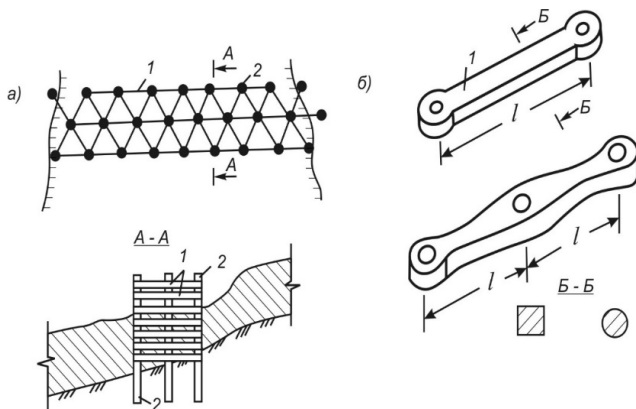


Рисунок 2 – Рамная противооползневая конструкция
а – вид сверху; б – варианты балок (1 – однопролетная, 2 – двухпролетная)
Свайно-анкерные и подземные сооружения

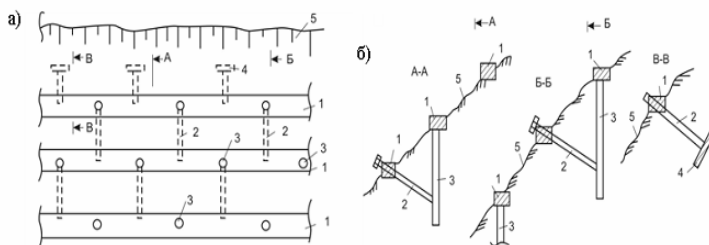


Рисунок 3 – Свайно-анкерная система укрепления оползнеопасного склона
с расчетными разрезами
а – трёхрядовое расположение свай; б, в – разрезы по линиям А-А, Б-Б, В-В

Свайно-анкерные и крестообразные конструкции обладают высокой несущей способностью и пространственной жесткостью, что повышает устойчивость грунтового массива. При их проектировании учитываются нагрузки от землеройной техники, что повышает надежность сооружений [6][7].

Влияние землеройной техники выражается в увеличении давления на грунт и изменении напряженного состояния откосов, особенно в слабых и водонасыщенных грунтах. Это приводит к снижению устойчивости склонов и требует обязательного учета техногенных нагрузок при проектировании.

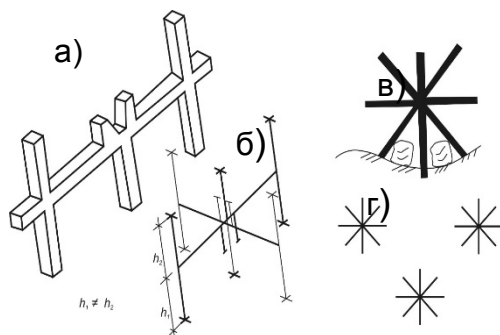


Рисунок 4 – Схема взаимодействия землеройной техники и противооползневых сооружений на устойчивость откоса
а – элемент устройства; б – схема сборки; в – форма металлического блока;
г – шахматное расположение блоков

Крестообразные железобетонные рамные конструкции способны эффективно воспринимать динамические воздействия оползневых масс с различных направлений, а также обеспечивают устойчивость к локальным деформациям грунтового массива [2][5].

При установке блоков техника работает вдоль горизонталей склона для минимизации сдвигающих сил на грунт. Учет нагрузки землеройной техники позволяет планировать последовательность монтажа и предотвращает локальные обрушения [6][7].

Таблица 1 – Сравнительная характеристика противооползневых сооружений

Тип сооружения	Преимущества	Недостатки
Рамные	Простота монтажа, биологическое укрепление	Необходимость обслуживания
Свайно-анкерные	Высокая устойчивость и долговечность	Высокая стоимость
Крестообразные	Пространственная жесткость	Повышенные требования к материалам

Методика расчета устойчивости склонов с учетом нагрузки техники

Для повышения точности проектных решений коэффициент устойчивости склона определяется с учетом статических и динамических нагрузок от землеройной техники:

$$K_{уст} = \frac{(c \cdot l + (N - U) \cdot \tan \varphi)}{T + T_{тех}}$$

c – сцепление грунта; l – длина расчетной (активной) поверхности скольжения; N – нормальная составляющая давления грунта; U – поровое

давление; T – сдвигающие силы от собственного веса грунта; $T_{тех}$ – дополнительные сдвигающие нагрузки, возникающие при воздействии строительной техники.

Например, экскаватор массой 18 т создаёт давление на грунт порядка 60 кПа. Учет данной нагрузки позволяет уточнить расчёт устойчивости склона, оптимизировать проектные решения и снизить риск активизации оползневых процессов при строительстве. Расчет показал снижение коэффициента устойчивости склона с 1,63 до 1,40 при учете нагрузки от землеройной техники.

Выводы.

1. Рамные и свайно-анкерные противооползневые конструкции обеспечивают эффективную защиту транспортной инфраструктуры на оползнеопасных склонах.

2. Крестообразные железобетонные конструкции обладают высокой пространственной жесткостью и устойчивостью к деформациям грунта.

3. Учет нагрузок от землеройной техники повышает точность расчета устойчивости склонов.

4. Наибольшая надежность противооползневой защиты достигается при комплексном применении инженерных и биологических методов.

5. Современные методы расчета и моделирования позволяют повысить точность проектных решений.

6. Рационально комбинировать различные типы конструкций в зависимости от инженерно-геологических условий.

Список использованной литературы

1. Базанова И. А. Теория и практика защиты дорог от лавино-оползневых воздействий: дисс. д.т.н. – Алматы, 2010. – 297 с.

2. Жданов В., Кузагельдина Н., Гуляева Т. «Мониторинг и методы прогнозирования лавинной опасности в Казахстане». География и водные ресурсы, № 3(2025).

3. «Рекомендации: Зимнее содержание автомобильных дорог общего пользования». Р РК 218-138-2017.

4. Сидоров А., Иванова М. «Современные методы укрепления склонов в горных районах». Инженерная геология, 2022, № 5.

5. Петров Д., Ким Е. «Эффективность крестообразных рамных сооружений при защите сельскохозяйственных объектов». Строительство и технологии, 2023, № 2.

6. Zhang, L., Li, X. Slope stability analysis under heavy machinery loads. Engineering Geology, 2019, Vol. 258, pp. 105–115.

7. Smith, J., Brown, K. Earthmoving equipment influence on soil stability. Journal of Construction Engineering, 2021, Vol. 147, No. 5.

8. ОДМ 218.2.050-2015. Методические рекомендации по проектированию противооползневых сооружений. – М.: Росавтодор, 2015. – 124 с.