

# СТРОИТЕЛЬСТВО ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ В РАЙОНЕ ДРОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА МИХЕЕВСКОМ ГОК

Текст: Дмитрий Оленичев, главный инженер проекта ООО «Габियोны Маккафери СНГ»



Рисунок 1. Армогрунтовая система «Террамеш»

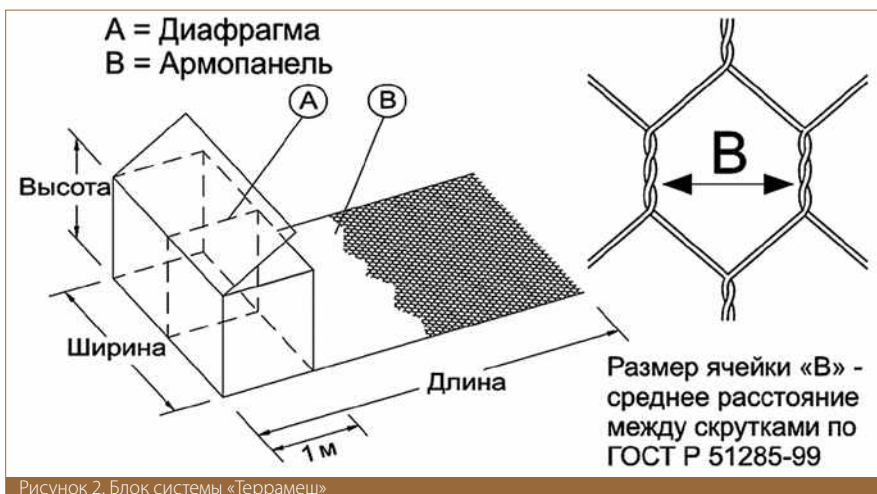


Рисунок 2. Блок системы «Террамеш»

Михеевское месторождение медно-порфириновых руд в Челябинской области Российской Федерации — одно из крупнейших медных месторождений в России — проект федерального зна-

чения, самый крупный горно-обогаительный комбинат, который построен «с нуля» на постсоветском пространстве.

В ходе строительства комбината при устройстве площадок подъезда боль-

шегрузных карьерных самосвалов в зону разгрузки руды возникла необходимость возведения подпорных стен высотой до 30 м. Классическое решение с применением железобетонных технологий требовало больших трудозатрат и в конечном итоге имело высокую стоимость.

Обладая значительным опытом в области проектирования и строительства геотехнических сооружений с применением габрионных технологий и армогрунтовых систем, специалисты предложили выполнить устройство подпорных стен с применением армогрунтовой системы «Террамеш». Она представляет собой модульную систему армирования грунта, используемую для крепления массивов взамен традиционных гравитационных подпорных стен. Модули системы располагаются слоями, причём в лицевой части устраивается габрионный блок, а грунт обратной засыпки послойно армируется.

Лицевой габрионный блок и армопанель производятся в соответствии с ГОСТ Р 52132-2003 и ТУ 1275-001-42873191-2016 из единого полотна сетки двойного кручения с шестиугольными ячейками. Стальная проволока, используемая для производства сетки, имеет плотное цинковое покрытие, а также дополнительную оболочку из ПВХ. Срок службы такой проволоки составляет не менее 75 лет. Двойное кручение проволоочной сетки обеспечивает целостность, прочность и равномерность распределения нагрузок, а также предотвращает раскручивание полотна в случае разрыва отдельных узлов.

Для заполнения лицевых габрионных блоков системы «Террамеш», используются каменные материалы твёрдых изверженных пород (базальт, гранит, диабаз, диорит). Оптимальный размер камня от 120 мм до 250 мм. Допускается применять

камень большего и меньшего размера, но не более 10% от объёма конструкции.

При возведении стен значительной высоты используется дополнительное армирование насыпи геосинтетической решёткой Paralink и Paragrid.

Георешётка представляет собой плоскую структуру, состоящую из одноосной совокупности композитных синтетических лент. Каждая отдельная продольная лента имеет ядро, изготовленное из высокопрочных полиэфирных нитей, заключённых в полиэтиленовую оболочку. Георешётка способна выдерживать нагрузки в диапазоне от 30 до 1350 кН/м.

На стадии предварительного проектирования было подобрано оптимальное плановое положение подпорной стены, которое в полной мере обеспечило габаритные размеры площадки подъезда в зоне выгрузки, также оно учитывало индивидуальные особенности системы «Террамеш», а именно угол наклона лицевой грани, который составил  $72^\circ$ .

Конструкция подпорной стены представляет собой армогрунтовую насыпь, состоящую из трёх блоков высотой по 10 м каждый и разделённых двумя промежуточными бермами шириной 2 м. В основании нижнего блока, а также на примыканиях к скальному массиву в торцах стены по всей высоте предусмотрены монолитные железобетонные блоки. Армирование нижнего блока выполнено с применением георешётки Paralink 500 с разрывными характеристиками до 500 кН/м, а двух последующих — с применением георешётки Paragrid 200 с разрывными характеристиками до 200 кН/м. Длина армирующих хвостов составила до 20 м.

Данные параметры подпорной стены были получены в результате расчётов устойчивости в специализированном программном комплексе MacSTARS W.

Программа MacSTARS W разработана для проверки устойчивости укрепленных массивов грунта, устойчивость склонов проверяется в результате использования поглощающих напряжение растяжения укрепляющих блоковых конструкций. Также программа даёт пользователю возможность проводить контрольный расчёт устойчивости, используя методику предельного равновесия,



Рисунок 3. Геосинтетическая решётка

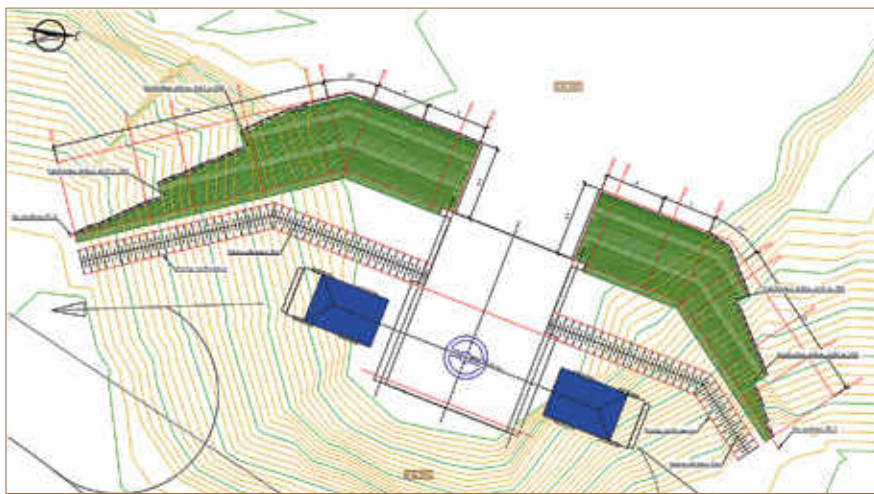


Рисунок 4. Плановое положение подпорной стены

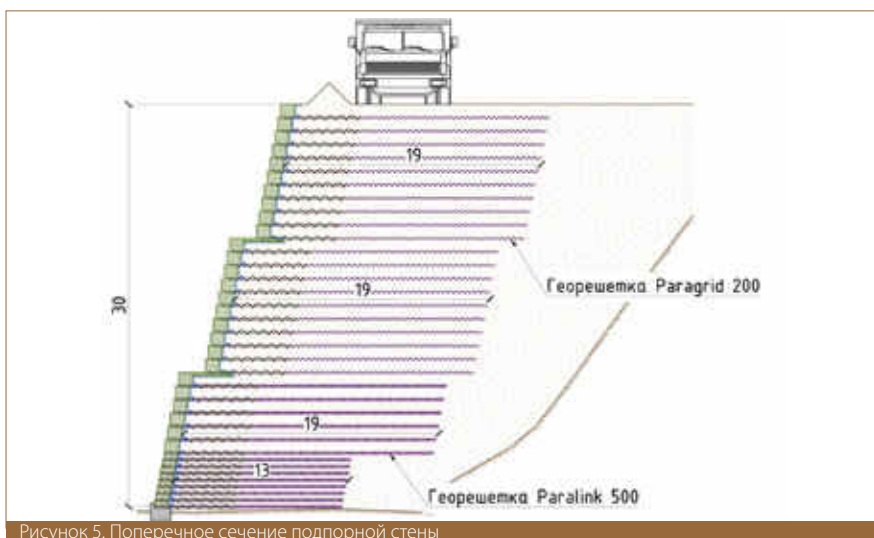


Рисунок 5. Поперечное сечение подпорной стены

что позволяет проводить расчёты и для неукрепленных склонов.

Тип выполняемой проверки зависит от способности массива грунта к разрушению, поведения блоков укрепления, а также типа прилагаемых нагрузок, которые являются фундаментальными аспектами.

Для оценки устойчивости сооружений выполняется расчёт общей или базовой устойчивости с использованием методики предельного равновесия. Такой анализ может проводиться для проверки устойчивости неукрепленного склона до того, как будет сконструирована удерживаю-

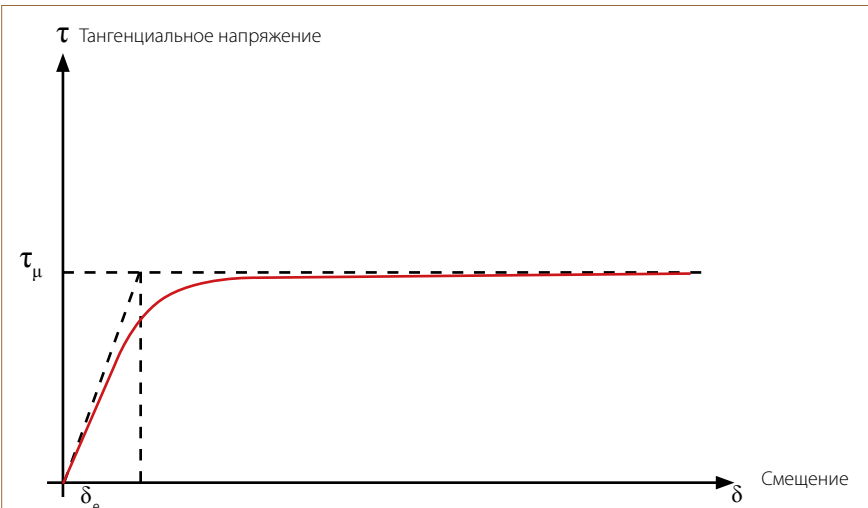


Рисунок 6. Связь между сдвиговым напряжением и смещением

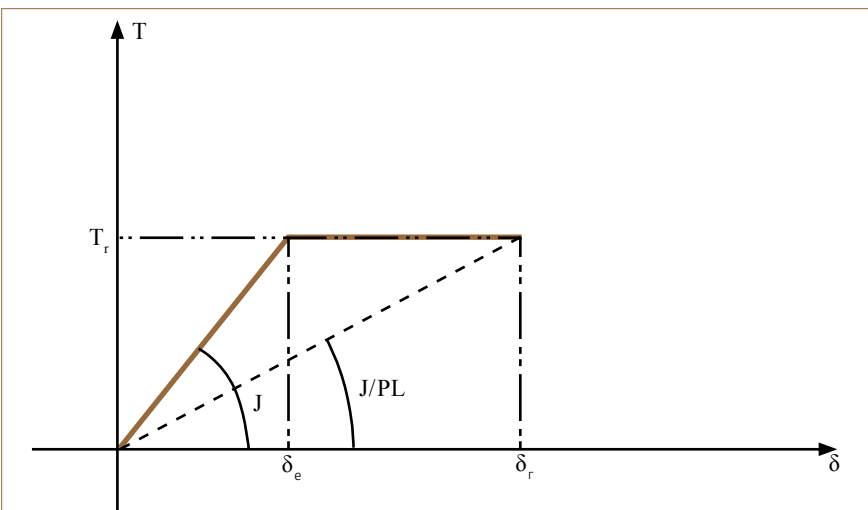


Рисунок 7. Зависимость между усилием на выдергивание и деформациями

щая конструкция. Это делается для того, чтобы до построения модели удерживающей конструкции оценить, какова должна быть сдерживающая работа укрепления (против возможного глубинного скольжения грунта, а также против внешнего по отношению к укреплению скольжению).

Расчёты общей и внутренней устойчивости обращаются к методу предельного равновесия. Подверженные разрушению грунтовые блоки разделяются на отдельные сегменты, и для каждого сегмента вычисляются воздействующие силы: внешнее воздействие, вес, усилие, действующее на основание каждого сегмента, сдвиговые усилия, воздействующие на внешнюю поверхность сегментов.

Для расчёта как общих и упрощённых моделей, так и более сложных и приближённых к реальности моделей поведения укрепления, используется деформационная модель. Согласно этой модели, сопротивление, вызванное единичным блоком укрепления,

пересекающим потенциальную поверхность скольжения, вычисляется с учётом следующих параметров:

- поведения давления-растяжения элемента укрепления, принятого как единичный элемент укрепления;
- поведение давления-растяжения в области контакта элемента укрепления и окружающих его выше и ниже материалов.

Учитывая смещение — (горизонтальная компонента полного наклонного смещения), вычисление действующего на единицу укрепления напряжения основано на следующих принципах:

#### 1) ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПАРЫ ГРУНТ-УКРЕПЛЕНИЕ

Связь между сдвиговым напряжением ( $\tau$ ) и смещением ( $\delta$ ) — гиперболическая, и, следовательно, определяется уравнением:

$$\tau = \tau_u \cdot \frac{\delta}{\delta_e + \delta}$$

где:  $\tau$  — сдвиговое напряжение, мобилизованное для смещения  $\delta$  (кПа);  
 $\tau_u = f \cdot \sigma_v$  — предельное сдвиговое напряжение (кПа);

$\delta_e = k \cdot \sigma_v$  — упругое смещение, полученное с начальным тангенсом (м);

$k$  — параметр упругого скольжения, полученный из проверки прямого сдвигового теста ( $\text{м}^3/\text{кН}$ );

$\sigma_v$  — давление в вертикальной плоскости во время теста (кПа)

$f$  — коэффициент трения в паре грунт-укрепление.

#### 2) ПОВЕДЕНИЕ УКРЕПЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ РАСТЯЖЕНИЕ-СЖАТИЕ

Поведение единицы укрепления в условиях растяжение-сжатие определяется классическим уравнением упругости:

$$dL = \frac{N \cdot L}{E \cdot A}$$

где  $N$  — среднее напряжение по оси укрепления (кН);

$L$  — длина укрепления (м);

$E$  — модуль упругости ( $\text{кН}/\text{м}^2$ );

$A$  — количество секций укрепления на погонный метр ( $\text{м}^2/\text{м}$ );

$dL$  — протяженность укрепления (м).

Согласно характеристикам растяжения-сжатия каждого укрепления, в расчёте используются параметры, полученные при тестах на сопротивление выдергиванию, согласно которым деформация укрепления  $\delta$ , появляющаяся на различных уровнях выдергивания с силой  $T$ , была измерена для различных типов грунта и  $\sigma_v$ .

$T_r$  — стандартная единица силы разрушения ( $\text{кН}/\text{м}$ );

$J = EA$  — линейная жесткость укрепления ( $\text{кН}/\text{м}$ ), которая является постоянной на упругом участке, из чего следует;

$$\delta = T/J$$

$PL = \delta_r/\delta_e$  — параметр пластичного скольжения;

$\delta_r$  — смещение до разрушения (мм);

$\delta_e$  — упругое смещение (мм).

При выполнении расчётов поверхности скольжения могут быть определены координатами (при имеющейся информации о положении поверхности скольжения), или же искать случайную возможную (потенциальную) поверхность скольжения, которая имеет минимальный запас прочности, а следовательно, является наиболее вероятной.

Полученные поверхности могут быть:

- кругло-цилиндрические;



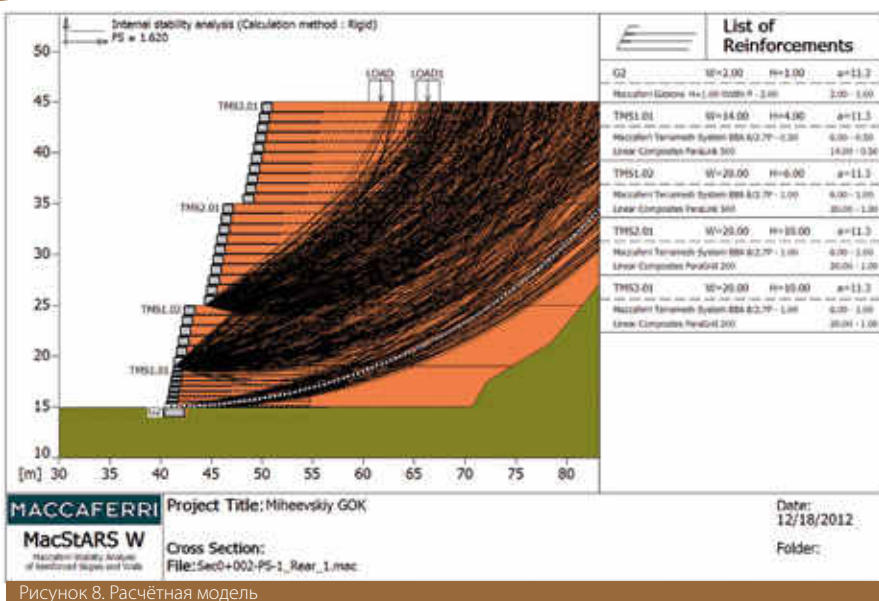


Рисунок 8. Расчётная модель



Рисунок 9. Последствия anomального ливня



Рисунок 10. Подпорная стена на завершающей стадии строительства

• многоугольники произвольной формы.

Когда потенциальная поверхность скольжения определена, подверженный разрушению грунтовый блок делится на пластины по следующим параметрам:

- неоднородность поверхности скольжения;
- неоднородность геометрического и стратиграфического (грунтового) профиля;
- неоднородность уровня положения грунтовых вод;
- положение нагрузки.

При расчете армогрунтовой системы Террамеш использовался упрощённый метод Бишопа. Данный метод основан на критериях разрушения Мора-Кулона:

$$\tau = c + (\sigma - u) \tan(\phi')$$

где  $\tau$  — максимальное тангенциальное напряжение;

$c$  — сцепление;

$\sigma$  — общее нормальное давление;

$u$  — поровое давление воды;

$\phi'$  — угол внутреннего трения.

Осложняющим фактором при расчётах подпорной стены была нагрузка от большегрузного карьерного самосвала общей массой 330 тонн (KOMATSU 730). Данная нагрузка была представлена в виде дополнительной однородно-распределённой нагрузки.

В процессе строительства произошло форс-мажорное обстоятельство. При возведении южной подпорной стены, когда высота сооружения составляла 22 м, в Челябинской области прошёл аномальный ливень, при котором уровень воды в основании стены поднялся до относительной отметки +4 м, и большое количество ливневого стока с прилегающей территории попало в тело обратной засыпки. Работы пришлось приостановить для откачки воды из основания и проведения контрольных измерений.

Контрольные измерения горизонтальных и вертикальных перемещений во время и после откачки воды показали, что деформации стены находятся в пределах допуска. Таким образом, форс-мажорное обстоятельство, произошедшее при строительстве объекта, не оказало влияния на прочность конструкции в целом.

Строительство объекта было проведено в сжатые сроки с июня по ноябрь 2013 года, и, учитывая приостановку работ по непредвиденным обстоятельствам, составило менее пяти месяцев.

По итоговой оценке, экономическая эффективность применения армогрунтовой системы «Террамеш» в сравнении с железобетонной подпорной стеной составила порядка 40%. **DT**