Сравнение перемещений (Z) и напряжений (N_X и N_Y) в перекрытиях для двух конструктивных схем в нескольких расчётных сечениях представлены на рис. 8-10.

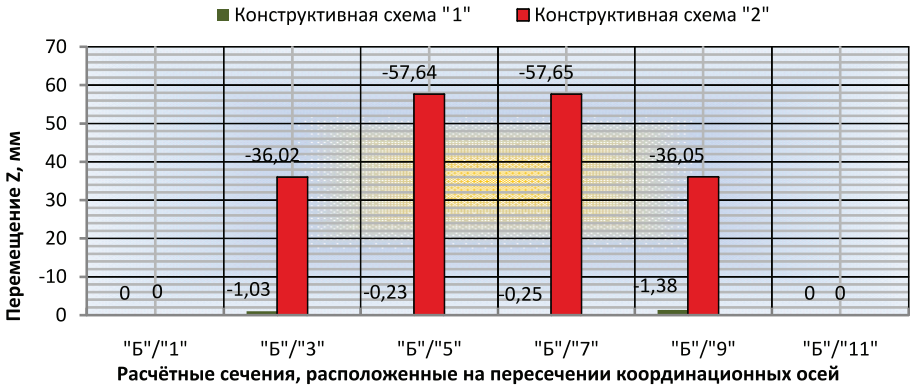

Рис. 8. Вертикальные перемещения – прогибы (Z)

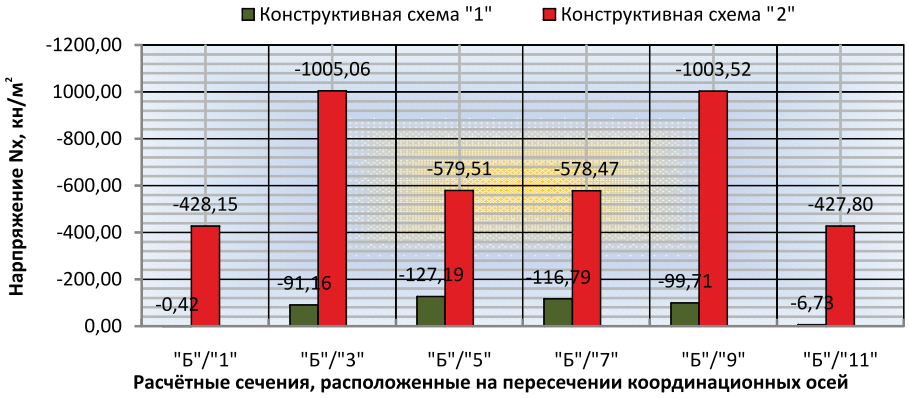

Рис. 9. Поперечные сжимающие напряжения (N_X)

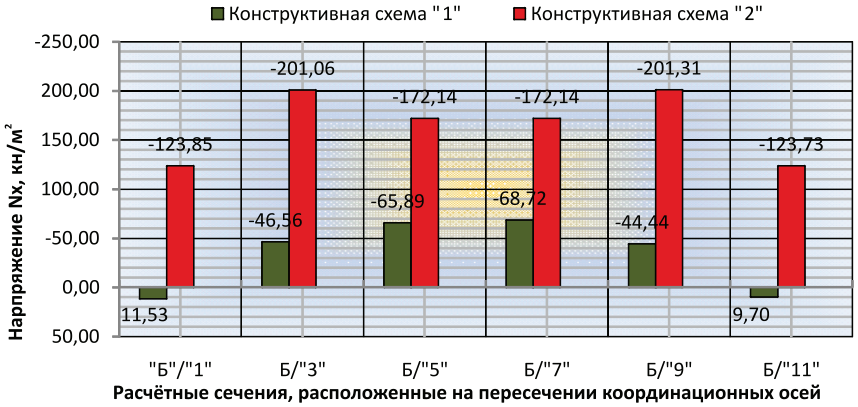

Рис. 10. Продольные сжимающие напряжения (N_Y)

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НАПОРНЫХ ВОД НА РАЗВИТИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В СКЛОНАХ НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА, ЗАНИМАЕМОГО СООРУЖЕНИЯМИ ЗАГОРСКОЙ ГАЭС

Григорьев Ю.С., Фатеев В.В.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, e-mail: valerav2@rambler.ru

Загорская гидроаккумулирующая электростанция мощностью 1200 тыс. кВт, предназначенная для покрытия пиковых потребностей в электроэнергии г. Москвы и Московской области, проектировалась на реке Кунье на участке, расположенном в 20 км к северу от г. Загорска (г. Сергиев Посад).

В целом рельеф района представляет собой холмистую моренную равнину, расчленённую долинами рек, ручьёв и оврагов. Выбор района строительства ГАЭС во многом определялся характером рельефа и, в первую очередь, глубоким врезом долины реки Куньи по отношению к водораздельным пространствам.

Загорская ГАЭС представляет собой комплекс сооружений (рис. 1): 1 – верхний аккумулирующий бассейн – в районе сел Богородское – Шубино – Иудино; 2 – сооружения станционного узла (водоприёмник, трубопроводы и здание ГАЭС) на левом берегу р. Кунья против деревни Выпуклово; 3 – нижний бассейн (водохранилище) на р. Кунье с низовой плотиной у поселка Федоровское и отсечной верховой плотиной у города Краснозаводска; 4 – подсобные сооружения (базы, посёлки) и дороги.

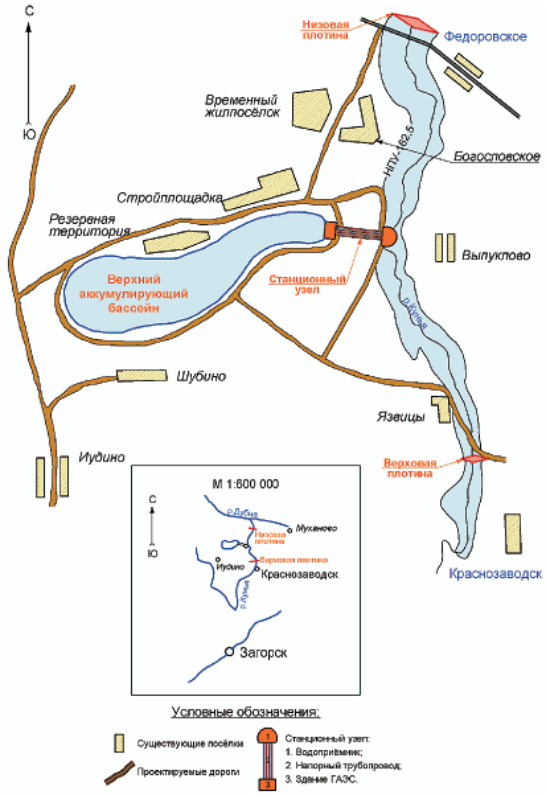

Рис. 1. План-схема расположения сооружений Загорской ГАЭС

Режим эксплуатации ГАЭС, и в первую очередь суточный цикл изменения уровней, планировался следующим образом: с 16 до 20 часов выработка электроэнергии, при этом уровень в верхнем бассейне срабатывается с отметки 266,5 (НПУ) до отметки 257,5 (УМО), а в нижнем бассейне происходит подъём воды с отметки 152,0 (УМО) до 162,5 (НПУ). С 20 до 24 часов – стационарный режим при НПУ в нижнем и УМО в верхнем бассейне. С 0 до 6 часов – заполнение верхнего бассейна до отметки НПУ 266,5 и сработка нижнего бассейна до отметки УМО 152,0. С 6 до 16 часов – стационарный режим при УМО в нижнем и НПУ в верхнем бассейне.

Верхний аккумулирующий бассейн расположен на высоком левобережье реки Куньи (абс. отм. от 235 до 268 м). Территория бассейна с северной и южной сторон ограничена крупными оврагами, направленными в долину реки Куньи, и ответвляющимися от них более мелкими оврагами и отвершками.

Фильтрации по линзам и прослоям в основании дамб, а также общее повышение уровня подземных вод, могут привести к увлажнению склонов и нарушению их устойчивости. В связи с этим в проекте было предусмотрено экранирование глинистыми грунтами песчаных линз и прослоев, вскрываемых в котловане верхнего бассейна.

В состав сооружений **станционного узла** входят: водоприёмник, напорный трубопровод и здание станции. **Водоприёмник** является головным сооружением напорных трубопроводов. **Напорный трубопровод** состоит из 6 ниток высоконапорных железобетонных труб с внутренним диаметром 7,5 м, которые укладываются на буронабивные железобетонные сваи диаметром 1200 мм и глубиной до 25 метров. Общая длина трубопровода 662,0 м, уклон от 2° в районе водоприемника до 15° вблизи ГАЭС.

Возможность сосредоточенных выходов напорных вод в откосах котлована при его разработке на этом участке может привести к снижению устойчивости откосов и к их оплыванию благодаря развитию суффозии, а также к оползанию небольших блоков морены, залегающей на водоносных песках.

Здание станции располагается в пойменной части долины реки Куньи. Правый борт долины на участке котлована здания ГЭС и отводящего канала характеризуются наличием здесь дислоцированных тел морены и парамоновских глин.

Нижний бассейн (водохранилище) располагается в устьевой части долины реки Куньи. При отметке НПУ 162,5 бассейн будет иметь вытянутую форму с извилистой береговой линией и многочисленными заливами по ручьям и оврагам, впадающим в долину реки. Длина бассейна (с севера на юг) около 8 км, ширина переменная от 0,1 до 0,9 км. Глубина бассейна при НПУ 162,5 в пределах от 2-3 м (в хвостовой части) до 20 м (в нижней, приплотинной части).

Условия работы ГАЭС определяют сложный режим работы нижнего водохранилища – ежесуточную резкую (в течение 6 часов) сработку от горизонта НПУ 162,5 м до уровня мертвого объема 152,0 м и еще более быстрый (в течение 4 часов) подъем уровня воды.

Резкие колебания уровня воды в водохранилище в условиях сложного геологического строения и наличия оползней могут в значительной степени повлиять на степень устойчивости и деформируемость склонов.

При быстрых изменениях уровня воды в водохранилище кроме оживления оползневых процессов может происходить оплывание глинистого чехла, прикрывающего склоны и суффозионный вынос песков на участках, где берега водохранилища в пределах колебания горизонтов сложены песчаными отложениями. Особенно вероятна суффозия на контактах песков и глин. Указанные выше процессы, наряду с оползнями, могут приводить к нарушению устойчивости и развитию оползневых деформаций естественных склонов.

Для района Загорской ГАЭС характерны сложные геологические и гидрогеологические условия. Гидрогеологические условия характеризуются наличием двух водоносных горизонтов в песчаных отложениях, разделяемых водонепроницаемыми толщами глинистых грунтов. Наличие в кровле парамоновских глин обуславливает напорный характер водоносного горизонта, пьезометрический уровень которого имеет абс. отметки порядка 170 м и величину напора до 30 м.

При оценке напряженно-деформированного состояния склона необходимо учитывать наличие у подножий коренных склонов погребённых смещённых блоков парамоновских глин, которые частично перекрывают сечение водоносного пласта и затрудняют дренирование потока. Возможно, однако, что через отдельные «окна» между этими телами происходит частичная разгрузка горизонта в подморенные пески.

Особенностью динамики развития оползневых деформаций склона является цикличность, обусловленная развитием деформаций ползучести под воздействием естественного гравитационного поля напряжений и циклически меняющихся во времени дополнительных напряжений, вызванных изменением напоров в водоносных горизонтах, обусловленным режимом заполнения-сработки водохранилищ и интенсивностью выпадения атмосферных осадков. Действие этих факторов проявляется во влиянии переменного *порового давления* на развитие деформаций ползучести в пластах водонасыщенных глинистых грунтов. Механизм развития этого процесса иллюстрируется схемой, представленной на рис. 3.

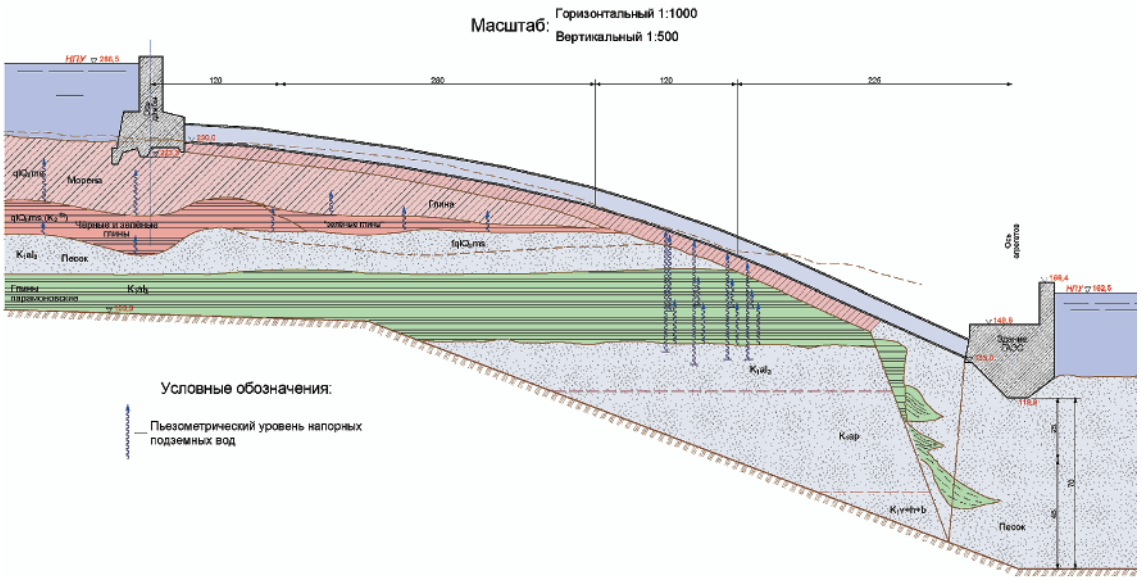

Рис. 2. Привязка сооружений Загорской ГАЭС к инженерно-геологическому разрезу

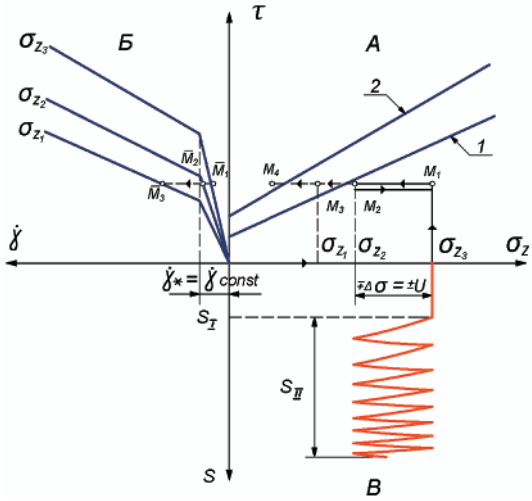

Рис. 3. Влияние переменного порового давления на напряжённо-деформированное состояние наклонного пласта водонасыщенного глинистого грунта в точке «М»:
1 – порог вязкопластического течения;
2 – условно-мгновенная прочность

Изменение величины эффективных сжимающих напряжений в наклонных пластах водонасыщенных глинистых грунтов, зависимость от которых скорости вязкого деформирования была установлена в эксперименте (рис. 5), в соответствии с принципом К. Терцаги может быть обусловлено изменением порового давления, развивающегося в пластах под действием напорных вод приграничных водоносных горизонтов.

Рассмотрим напряженное состояние некоторой точки M_1 пласта водонасыщенного глинистого грунта, находящейся в зоне действия переменного порового давления. Увеличение порового давления на величину «u» вызывает снижение эффективных сжимающих напряжений в скелете грунта (точка M_2) на величину «$\Delta\sigma$». Это способствует увеличению скорости развития деформаций затухающей ползучести в допредельном напряженном состоянии (точка $\overline{M}_2$). Дальнейшее увеличение порового давления (точка M_3) приводит к вязко-пластическому течению в запредельном состоянии (точка $\overline{M}_3$), в котором, по истечении некоторого времени, происходит разрушение грунта. При суточном (или сезонном) колебании порового давления в допредельном состоянии (в диапазоне –) происходит постепенное накопление горизонтальных деформаций ползучести. Последнее обстоятельство необходимо учитывать в расчетах напряженно-деформированного состояния устойчивых склонов, целью которых должен быть прогноз величины горизонтальных перемещений склонов и возведенных на них сооружений. При этом необходимо знать порог вязкопластического течения грунтов, испытывающих воздействие циклически меняющихся напоров воды.

Испытания на ползучесть, целью которых было определение порога вязкопластического течения, выполнялись в приборе перекашивания конструкции С.Н. Сотникова. После серии установочных опытов, выполнявшихся в открытой системе при различных значениях нормальных эффективных напряжений, при постоянно действующих и ступенчато прикладываемых касательных нагрузках, была заложена серия из трех опытов, для которых было вырезано 3 образца-близнеца из одного тщательно подготовленного монолита водонасыщенного верхне-четвертичного суглинка, отобранного на левобережном оползневом склоне Ахангаранского водохранилища в Узбекистане. Основные характеристики физических свойств исследовавшегося грунта: $\rho = 1{,}89$ г/см^3; $\rho_s = 2{,}5$ г/см^3; $e = 0{,}62$; $W = 23\,\%$; $S_r = 0{,}92$; $W_L = 29{,}7\,\%$; $W_P = 20{,}7\,\%$.

Испытания в приборе перекашивания выполнялись при вертикальных напряжениях $\sigma_z = 200$, 300 и 400 кПа и ступенчато увеличивающихся горизонтальных напряжениях. Величина ступеней горизонтальных напряжений, касательных к плоскости сдвига, была принята равной 4% от величины вертикальных напряжений. Для уменьшения влияния режима загружения, сокращения срока испытаний и повышения точности измерения перемещений, протекающих в стадии затухающей ползучести с невысокими скоростями, каждая ступень касательной нагрузки выдерживалась строго в течение 130 минут, с обязательным снятием отсчетов по измеряющему перемещения индикатору в моменты времени 110 и 130 минут (рис. 4). Это позволило с достаточной точностью определить средние скорости деформирования, соответствующие $t = 120$ мин для каждой ступени касательной нагрузки.

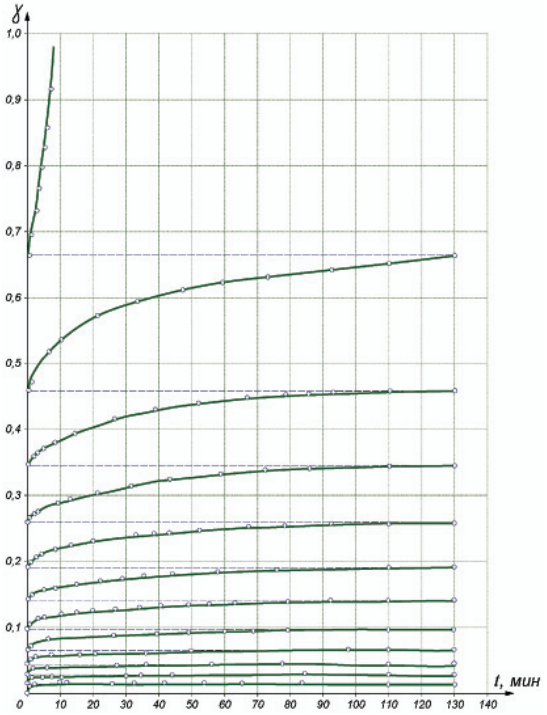

Рис. 4. Результаты исследований ползучести покровного суглинка при сдвиге в режиме ступенчатого нагружения (σ_z = 400 кПа; Δτ1 – 12 = 0,04· σ_z = 16 кПа)

Кроме того были выполнены исследования прочности суглинка в приборе прямого одноплоскостного среза ГГП-30 по методике регламентируемой ГОСТ 12248-96 и методом сдвига «плашки по плашке», в результате которых оказалось, что сцепление в грунте отсутствует, а «стандартная» прочность равна остаточной (рис. 6). Последнее, подтвержденное многократным повторением сдвига образца по заранее приготовленной плоскости среза, указывает на коагуляционный характер слабых межчастичных связей в водонасыщенном образце суглинка, легко восстанавливающихся при совмещении «плашек» и обжатии их в грунтоприёмной камере срезного прибора вертикальным давлением.

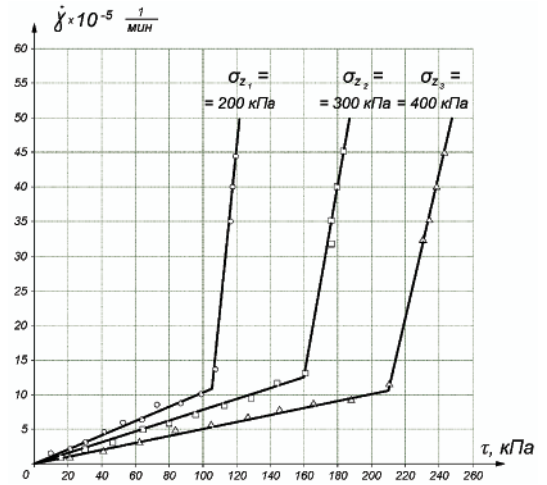

Рис. 5. Реологические кривые суглинка.

В результате выполненных экспериментов был определен порог вязко-пластического течения, который оказался ниже остаточной прочности суглинка (рис. 5). Было установлено также, что переход из области вязкого в область вязко-пластического деформирования на реологических кривых $\gamma = \gamma(\tau)$ происходит при практически постоянной для данного момента времени (t = 120 мин) скорости деформирования, не зависящей от величины сжимающего напряжения (рис. 5).

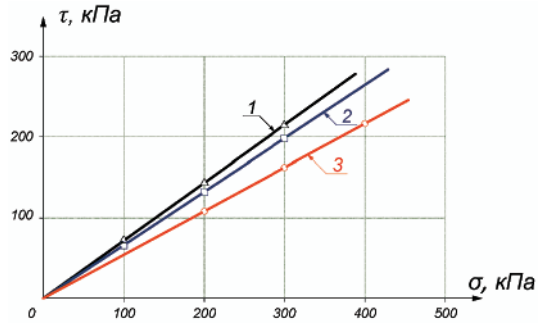

Рис. 6. Диаграммы прочности суглинка: 1 – условно-мгновенная прочность; 2 – «стандартная» и остаточная прочность; 3 – порог вязкопластического течения

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ГРУНТОВЫХ И ВОДНЫХ СРЕДАХ

Кочешкова Л.Г., Кочева Е.А., Палашов В.В.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, e-mail: queen220992@mail.ru

Сила, действующая в электромагнитном поле на элемент объема материи, является результирующей пондероматорных сил, которые действуют в этом поле на все находящиеся в данном элементе объема электрические и магнитные элементарные частицы [1]. В потенциальном электрическом поле проявляются только силы, испытываемые электрическим зарядом, а также силы, испытываемые диполями поляризованного вещества. Произведение этой силы, действующей на элементарный заряд, на расстояние между электродами получается всегда одинаковым и дает энергию, передаваемую заряду, которая остается всегда постоянной и не зависит от расстояния между электродами. Энергия, сообщаемая элементарному заряду, не зависит и от величины силы тока. Сила, действующая на элементарный заряд может быть названа кулоновой (^{c}f) и в случае объемно-распределенного заряда она представляется равенством, содержащим только векторы поля:

$$^{c}\mathbf{f} = \mathbf{E}_{\rho} = \mathbf{E}\, div\, \mathbf{D}, \qquad (1)$$

где в общем случае вектор электрической индукции или смещения $\mathbf{D} = \varepsilon 0\mathbf{E} + \mathbf{P}$, а в случае линейного диэлектрика $\mathbf{D} = \varepsilon_0\varepsilon_r\mathbf{E}$ и $\mathbf{P} = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)\mathbf{E} = \varepsilon_0\mathbf{K}\mathbf{E}$.

С другой стороны, Кельвин впервые обратил внимание еще на существование другой силы, действующей на поляризованные незаряженные тела в потенциальном поле. Эта сила названа кельвиновой (^{K}f). Ее отношение к единице объема выражается формулой:

$$^{K}\mathbf{f} = (\mathbf{P}_{\nabla})\mathbf{E}, \qquad (2)$$

$\mathbf{P}\nabla$ в декартовой системе координат

$$\mathbf{P}_{\nabla} = P_x\frac{\partial}{\partial x} + P_y\frac{\partial}{\partial y} + P_z\frac{\partial}{\partial z}.$$