

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Ю.С. Григорьев, В.В. Фатеев

*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*

## О ПРИЧИНАХ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ В ПЛАСТАХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ УЧАСТКА, ЗАНИМАЕМОГО СООРУЖЕНИЯМИ ЗАГОРСКОЙ ГАЭС

Загорская гидроаккумулирующая электростанция мощностью 1200 тыс. кВт, предназначенная для покрытия пиковых потребностей в электроэнергии г. Москвы и Московской области, проектировалась на р. 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 р. Куньи по отношению к водораздельным пространствам.

Загорская ГАЭС представляет собой комплекс сооружений (рис. 1): **1-верхний аккумулярующий 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.

Режим эксплуатации ГАЭС, и в первую очередь суточный цикл изменения уровней, характеризуется следующими особенностями: 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 аккумулярующий бассейн** расположен на высоком левобережье р. Куньи (абс. отм. от 235 до 268 м). Территория бассейна с северной и южной сторон ограничена крупными оврагами, направленными в долину р. 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 водоприёмника 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 р. 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 р.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).

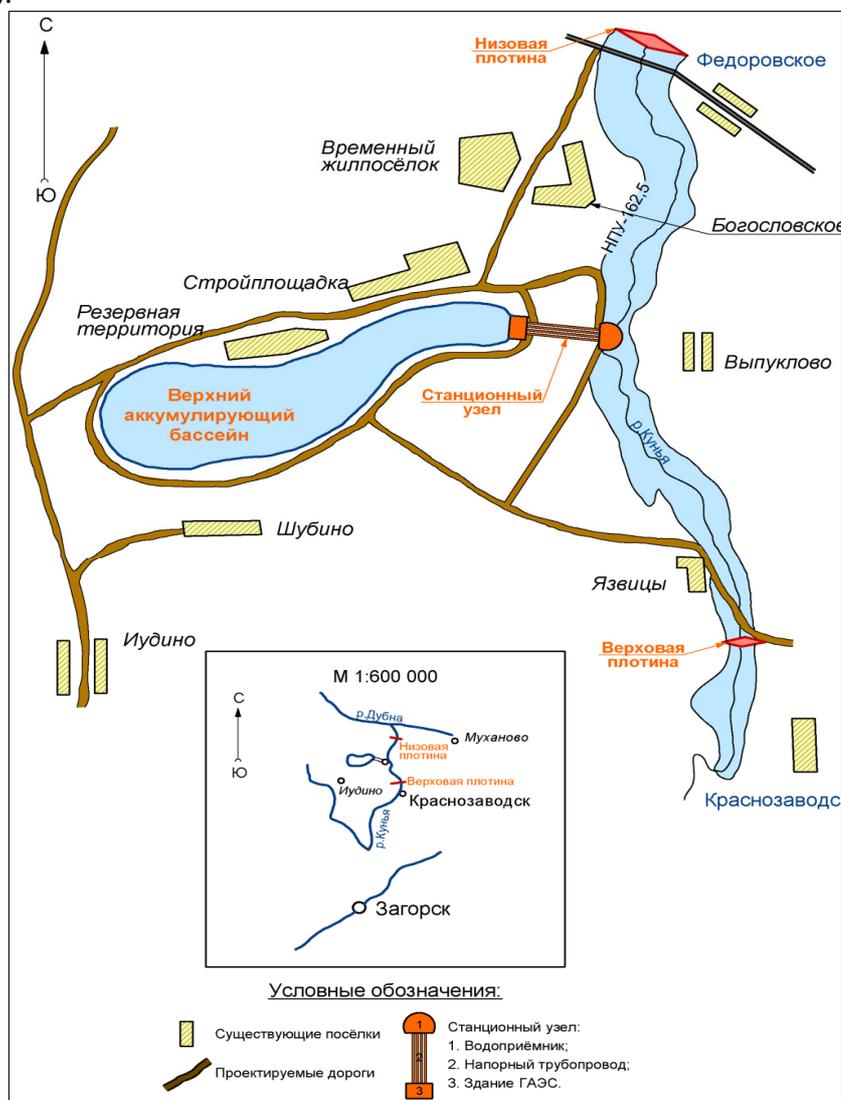


Рис. 1. План-схема расположения Загорской ГАЭС

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 склонов.

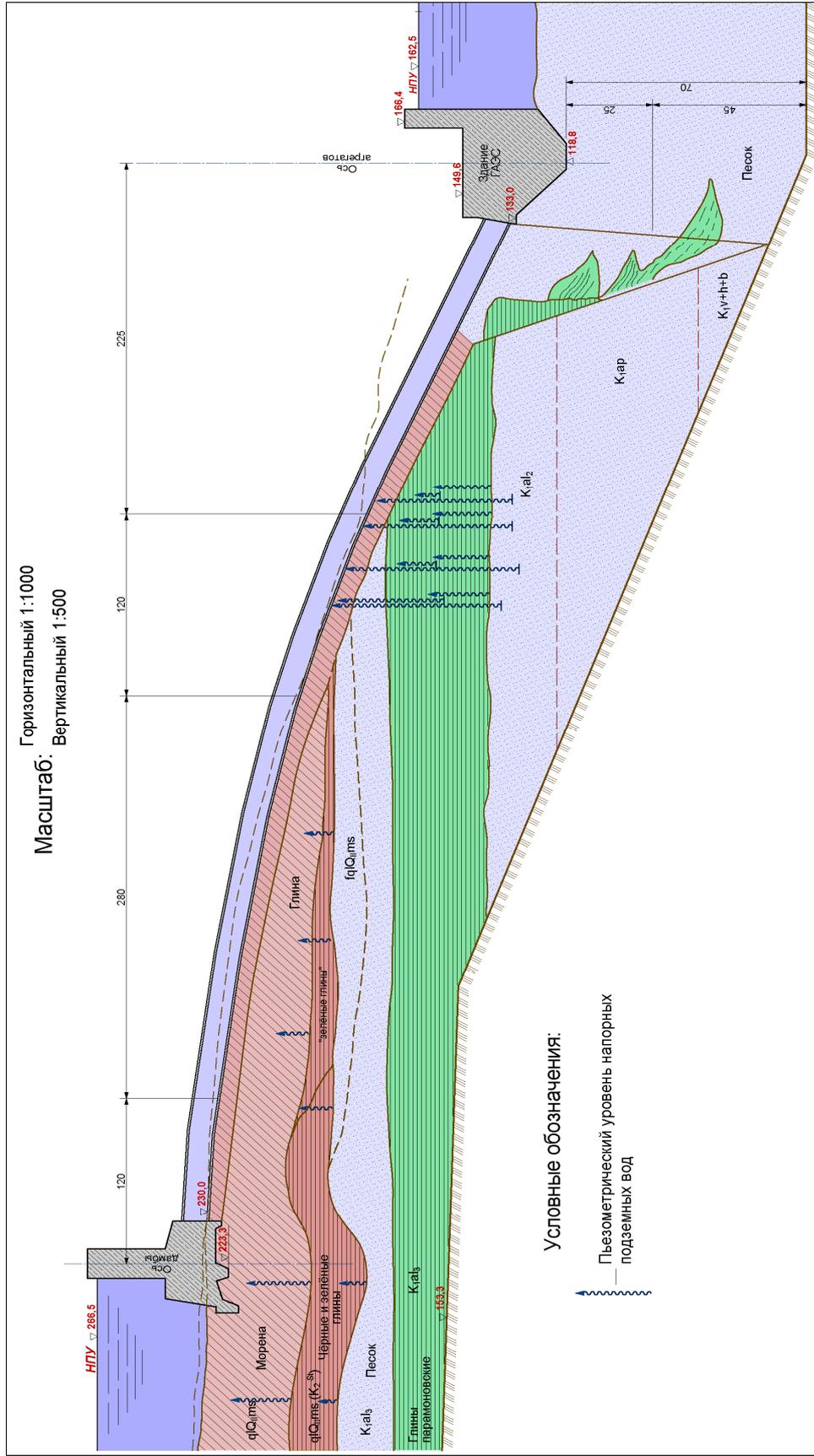


Рис. 2. Привязка Загорской ГАЭС к инженерно-геологическому разрезу.

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 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.

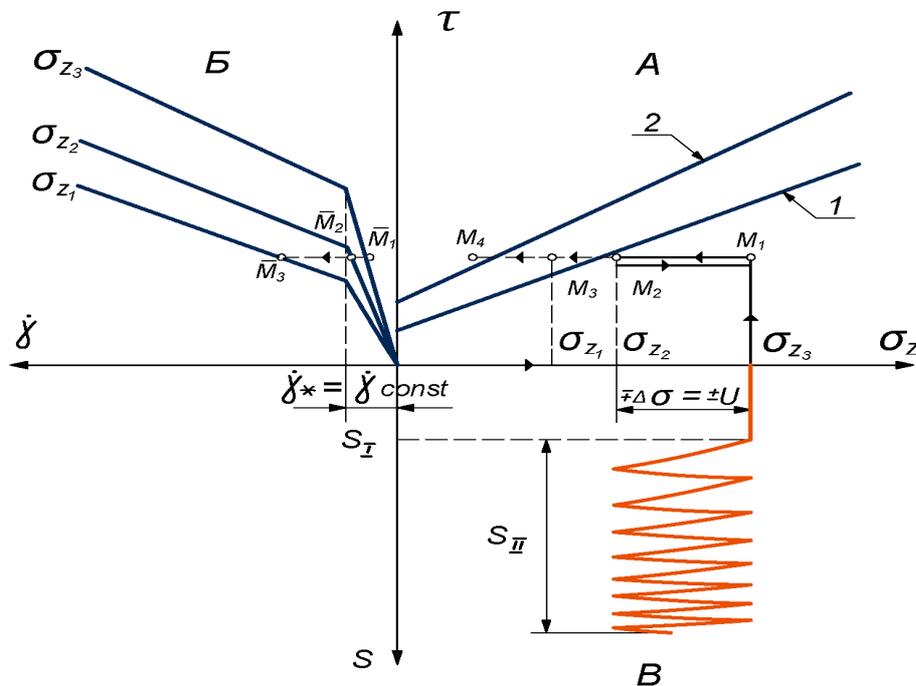


Рис. 3. Влияние переменного порового давления на напряжённо-деформированное состояние наклонного пласта водонасыщенного глинистого грунта в точке «М»

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 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  $M_1$ - $M_2$ ) происходит постепенное накопление горизонтальных деформаций ползучести. Последнее обстоятельство необходимо учитывать в расчетах напряженно-деформированного состояния склона.

Ю.С. Григорьев, С.Я. Скворцов, В.В. Фатеев

*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ И УСИЛЕНИЕ СТАЛЬНЫХ КОЛОНН ПЯТИЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ НА УЛИЦЕ ПОЧАИНСКОЙ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ**

В 1882 году в Нижнем Новгороде, на Почайне был открыт «Ново-Лысковский пивоваренный завод наследников Ф.Я.Ермолаева», представлявший собой комплекс зданий различного назначения. В 1908 году под техническим надзором одного из совладельцев завода – гражданского инженера Ф.А.Ермолаева, на заводе было построено самое оригинальное здание комплекса – варочный цех (современный №17-Е) (фото.1, 2). Последний директор завода Ф.Я.Ермолаев после Октябрьской революции 1917 года добровольно передал завод представителям новой власти. В гражданскую войну завод был разграблен, но в 1922 году после решения советского правительства о возрождении пивоваренной отрасли началось его восстановление. В годы Великой Отечественной войны пивоварение на заводе потеснили сушильное и мельничное производства: для фронта сушили картофель, лук, грибы, варили варенья. В 1950-60 годы завод был модернизирован. Однако в перестроечное время производство пива было прекращено, а само здание было заброшено.

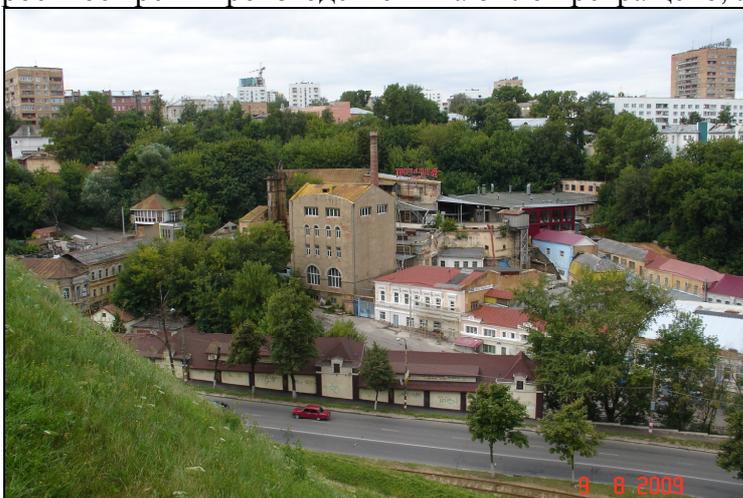


Фото. 1. Вид на здание с Кремлевского холма



Фото. 2. Улица Почайнская,  
дом 17-Е

Обследование здания, выполненное летом 2009 года, было выполнено в связи с его запланированной реконструкцией.

Здание 5-этажное с цокольным этажом, трапециевидальной формы в плане, с несущими кирпичными стенами и стальным каркасом внутри здания. Ширина здания — 14,1 м, длина – 15,2 м по главному фасаду и 18,30 м по дворовому. Высота надземной части здания 22,8 м.

Стены здания выполнены из обыкновенного глиняного кирпича пластического прессования на цементном растворе с добавлением извести. Наружные стены переменной по



приурочен к четвертичным отложениям. На период производства полевых работ (март 2009 г.) вскрыт на глубинах 3,2-3,4 м. Горизонт безнапорный. Его питание осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и утечек из водонесущих коммуникаций. Разгрузка происходит вниз по склону в аллювиальный водоносный горизонт реки Волги. Второй от поверхности участка водоносный горизонт безнапорный, приурочен к трещиноватым зонам в коренных глинах татарского яруса верхней перми. Уровень подземных вод зафиксирован на глубинах 5,1-6,8 м. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетока воды из водоносного горизонта четвертичных отложений. Строительное освоение склона Почаинского оврага нарушает сток поверхностных вод и фильтрацию грунтовых вод, что приводит к повышению уровня верхнего водоносного горизонта, что подтвердили результаты отрывки шурфов внутри здания.

В процессе обследования строительных конструкций в наружных и во внутренних стенах здания были обнаружены трещины, пересекающие стены по всей высоте (рис. 2).

Выполненными исследованиями было установлено, что причиной деформации здания и образования в стенах трещин являются неравномерные осадки грунтового основания. Однако причиной развития неравномерных осадок является не ухудшение прочностных и деформационных свойств основания, а изменение конструктивной схемы здания и перераспределение нагрузок передающихся на стены в результате разрушения коррозией металлических колонн каркаса на первом этаже здания.



Фото.3. Стальная колонна, расположенная на пересечении осей «Б»/«3»



Фото.4. Отверстие, образовавшееся в стенке швеллера, в результате разрушения металла коррозией



Фото.5. Разрушенный сквозной коррозией накладной лист колонны

Обследованием металлических конструкций было установлено:

1. Колонны встроенного стального каркаса, расположенные на пересечении координатных осей «3»/«Б» и «4»/«Б» (рис.1), клепаного сечения состоящего из двух швеллеров №30 и стальных листов толщиной 12 мм.

2. В сечениях, расположенных на высоте 1,7 м над уровнем перекрытия цокольного этажа, колонны полностью разрушены коррозией (фото.3-5).

3. Величина потери площади поперечного сечения колонн составляет 70...90 %.

4. Опирающиеся на разрушенные колонны строительные конструкции вышерасположенных четырёх этажей (колонны и перекрытия) удерживаются от обрушения только за счет совместной работы сводчатых перекрытий и неразрезных стальных балок, обладающих достаточной прочностью и жесткостью.

Сложившаяся к моменту выполненных обследований (апрель 2009 г.) ситуация на объекте являлась аварийной, в результате которой могло произойти обрушение междуэтажных перекрытий и возможно всего здания. В связи с этим все работы по очистке здания от строительного мусора, по обследованию, разборке и монтажу конструкций были приостановлены, вплоть до ликвидации аварийной ситуации.

Для предотвращения аварии, были разработаны рабочие чертежи металлодеревянных конструкций, представляющих собой пространственную систему, состоящую из деревянных стоек, балок и металлических вертикальных связей (фото. 6).



Фото.6. Металлодеревянные конструкции, вывешивающие перекрытия и разгружающие колонну цокольного этажа, расположенную на пересечении осей «З»/«Б»



Фото.7. Усиленная колонна 1-го этажа, расположенная на пересечении осей «4»/«Б»

После устройства временных поэтажных подкреплений перекрытий, разгружающих металлические колонны, следующим этапом ликвидации аварийной ситуации и обеспечения нормальных условий для обследования здания, выполнения работ по его реконструкции и дальнейшей эксплуатации стали: 1) разработка рабочих чертежей конструкций усиления колонн и 2) выполнение работ по усилению колонн поврежденных коррозией (фото.3). Оба этапа были успешно реализованы. Таким образом, восстановив прочность встроенного металлического каркаса, удалось привести конструктивную схему здания,

напряженное состояние наружных стен и грунтового основания здания к первоначальному состоянию.

Т.Ю. Дымура

*Братский государственный университет*

## **ИЗМЕНЕНИЕ УСИЛИЙ В НЕСУЩИХ СИСТЕМАХ ЗДАНИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Определение эксплуатационного срока службы (долговечности) ограждающих стеновых конструкций является в настоящее время одной из важнейших задач современного строительства. Оценка долговечности позволяет определить срок службы конструкций на стадии проектирования, рассчитать затраты на проведение текущих и капитального ремонтов здания.

Вопрос определения долговечности напрямую зависит от изменения прочностных характеристик железобетона во времени. Данным вопросом занимаются многие ученые из разных стран.

Физико-механические свойства железобетона со временем меняются. Рассматривая модуль упругости  $E$  можно заметить, что со временем он начинает уменьшаться, а его изменение значительно влияет при расчете многоэтажных зданий.

Различные авторы в своих работах предлагают формулы для определения модуля упругости бетона  $E$ .

Чистяковым Е.А.[1] предложено аналитическое выражение, описывающее влияние возраста бетона на изменение модуля упругости.

$$\delta = \frac{E_t}{E} = 1 - \frac{0.3t_1}{t_1 + 400}; \quad (1)$$

где  $t_1 = t - 50$ ;  $t$  – возраст бетона, дн.

Исследовав функцию видно, что к возрасту в 50 лет изменение модуля упругости не превышает 30%, то есть 0,7 от первоначального значения [1].

Чтобы оценить степень влияния модуля упругости на напряженно-деформированное состояние здания, произведем расчет бескаркасного 5-этажного жилого здания с продольными и поперечными несущими стенами серии 97 и сделаем сравнение усилий, возникающих в столбах здания на разных сроках эксплуатации.

Для расчета здания использовался программный комплекс «АВЕС»[2].

По формуле (1) были получены значения модуля упругости для 3, 10 и 25 лет после начала эксплуатации здания и затем с помощью программы АВЕС[2], для здания были рассчитаны усилия в столбах.

Расчет проводился для всего здания в целом с изменением модуля упругости во времени. По приведенным расчетам были построены эпюры усилий, выборочно для № 1, № 3 и № 27 столбов здания.

На рисунке 1 изображена несущая схема, рассчитываемого здания, с нумерацией столбов.

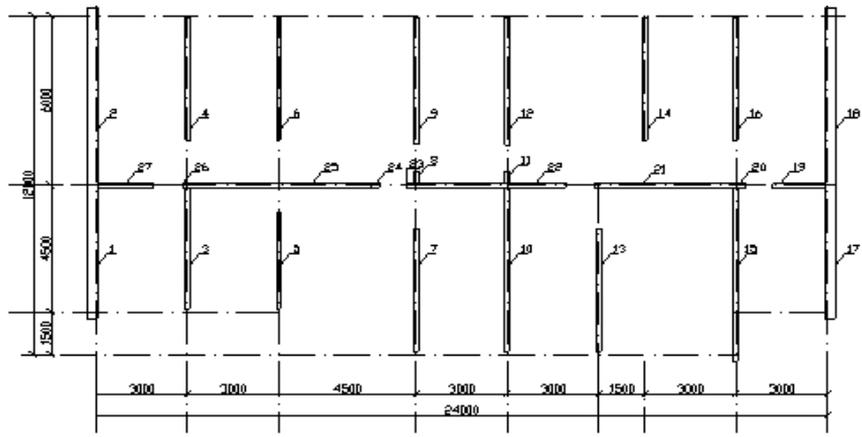


Рис. 1. Несущая схема здания

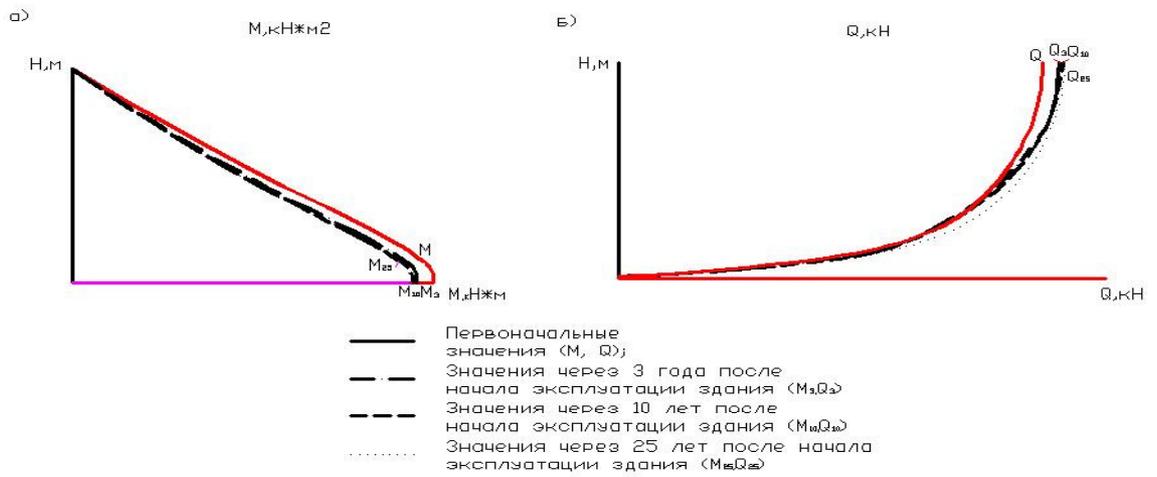
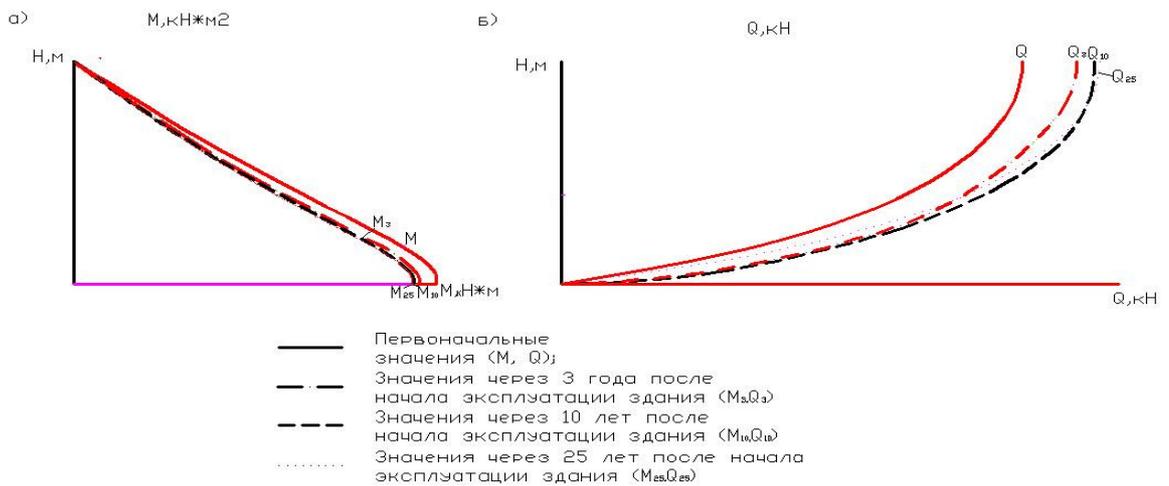


Рис. 2. Эпюры усилий:

а) эпюры усилий  $M$  для столба №1; б) эпюры усилий  $Q$  для связи между столбами №1 и №27



ERROR: stackunderflow  
OFFENDING COMMAND: ~

STACK: