

УДК 624.152.6

Мирсаяпов И.Т. – доктор технических наук, профессор

Сафин Д.Р. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: d.safin@list.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НДС ГРУНТОВОГО МАССИВА
ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ
С ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИЕЙ КОНСОЛЬНОГО ТИПА
В ПРОЦЕССЕ ПОЭТАПНОЙ РАЗРАБОТКИ КОТЛОВАНА**

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются некоторые результаты экспериментальных исследований влияния поэтапной разработки котлована на напряженно-деформированное состояние грунтового массива при совместном деформировании с ограждающей конструкцией. Приводятся графики изменений активного и пассивного давлений грунта, изгибающих моментов в ограждающей конструкции в зависимости от этапов разработки грунта. В результате проведенных исследований получены определенные выводы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: грунт, ограждающая конструкция, активное давление, пассивное давление, отклонение.

Mirsayapov I.T. – doctor of technical sciences, professor

Safin D.R. – candidate of technical sciences, associate professor

Kazan State University of Architecture and Engineering

**EXPERIMENTAL SURVEYS OF DEFLECTED STATE OF SOIL BODY CONSISTENT
WITH RABBIT IN THE PROCESS OF GRADED EXCAVATION OF DITCH**

ABSTRACT

Article is dedicated to experimental researches of graded excavation's influence on deflected state of ground body consistent with rabbit. Graphs of changes of active pressure, passive lateral thrust and bending moments in rabbit are shown. As a result of experiments conducted some conclusions are made.

KEYWORDS: ground, protecting design, active pressure, passive pressure, bend, deviation.

Многолетний опыт проектирования и строительства сооружений с подпорными стенками подтверждает мнение, что гибкие стенки, используемые в качестве ограждений котлованов, в конструкциях причалов, береговых устоев мостов, шлюзов, ограждений для поддержания дорожных насыпей, обладают наилучшими показателями. Однако препятствием к их широкому использованию является малая изученность действительной работы подобных конструкций, так как еще не удалось создать достоверную рабочую модель гибкой стенки. Применяемые при проектировании ограждающих конструкций котлована методы расчета, основанные на классической теории давления грунта, предполагают наличие определенной картины перемещений, которая в действительности не наблюдается. Одним из общих недостатков существующих методов расчета гибких стенок, с которым вынуждены сейчас мириться проектировщики, является, как известно, завышение активного давления грунта на стенку и, следовательно, расчетных усилий и перемещений ограждающей конструкции.

При деформациях шпунтовой стенки в окружающем ее массиве грунта возникает сложное напряженное состояние: образующиеся области уплотнения и области сдвигов оказывают взаимное воздействие друг на друга. Для определения границ зоны сдвигов теоретическим путем необходимо решить смешанную задачу теории линейно деформируемой среды и теории предельно-напряженного состояния. Строгое решение такой задачи представляет значительную сложность, в настоящее время возможно лишь наметить пути приближения ее решения при введении ряда упрощающих допущений. Существенную помощь в этом направлении должны оказать соответствующим образом поставленные экспериментальные исследования.

Существующие методы расчета ограждающих конструкций зачастую не учитывают возможное изменение напряженно-деформированного состояния массива грунта, ограждающей системы в процессе возведения системы в целом. В практике строительства не существует абсолютно неподвижных ограждающих конструкций: они либо прогибаются под действием нагрузок, или смещаются в какую-либо сторону в зависимости от сжимаемости грунтов основания. Эти прогибы и смещения стенок, а также осадка грунта за ними приводят к трению грунта по контактными граням стенок и к различным смещениям частиц грунта, значительно отличающихся от предполагаемых по расчетам.

Целью данной работы является экспериментальное изучение напряженно-деформированного состояния грунтового массива за ограждающей конструкцией в процессе экскавации грунта. Как известно, даже небольшие перемещения ограждающей конструкции могут привести к изменениям в системе «массив грунта – ограждающая конструкция». А эти перемещения необратимы уже на первоначальных этапах разработки котлована, особенно это актуально для «гибких» консольных ограждающих конструкций.

Экспериментальные исследования были проведены в объемных лотках размерами сторон 1 м (рис. 1). Моделью консольной ограждающей конструкции был выбран стальной лист толщиной стенки 2 мм. В качестве образца был применен мелкий песок со следующими физико-механическими характеристиками: $\rho_s = 2,66 \text{ г/см}^3$, $W = 2 \%$, $\varphi = 28^\circ$, $c = 0,5 \text{ кПа}$.

Деформации стальной ограждающей конструкции фиксировались тензометрическими датчиками сопротивления базой 20 мм, наклеенными на поверхность металла с шагом по высоте 10 см (рис. 2). Для измерений перемещений верха ограждающей конструкции и осадки поверхности массива грунта использовались прогибомеры и индикаторы часового действия ИД-4 (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки (объемный лоток) по завершении I этапа разработки грунта

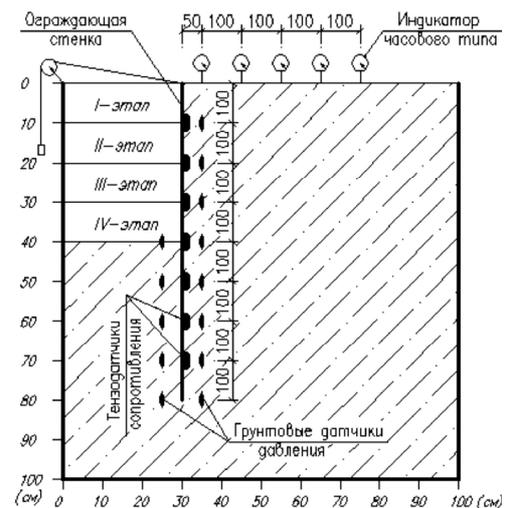


Рис. 2. Схема расположения контрольно-измерительных приборов

В целях исследования качественной оценки действия активного и пассивного давлений на ограждающую конструкцию в массиве грунта были установлены датчики давления грунта. Работа этих приборов основана на изменении показателей тензометрических датчиков, вмонтированных в тело датчиков. При давлении грунта изменяется геометрия указанных датчиков и, соответственно, тензометрические датчики фиксируют уменьшение или увеличение давления грунта.

Для изучения напряженно-деформированного состояния грунтового массива при совместном деформировании с ограждающей конструкцией консольного типа в процессе поэтапной разработки котлована были запланированы и проведены 6 однотипных экспериментов. Работа проводилась в несколько этапов в следующей последовательности:

- устанавливается ограждающая стенка с контрольно-измерительными приборами;
- объемный лоток засыпается грунтом слоями мощностью 10 см с послойным трамбованием. Контроль плотности осуществлялся путем отбора образцов режущим кольцом.

Среднее значение плотности сложения грунта составило $\rho = 1,59 \text{ г/см}^3$. Во время засыпки в массиве грунта устанавливаются датчики давления грунта с шагом по высоте 10 см;

– производится поэтапная откопка грунта за ограждающей стенкой: I этап – на глубину 10 см, II этап – на глубину 20 см, III этап – на глубину 30 см, IV этап – на глубину 40 см. В каждом этапе снимаются показания всех контрольно-измерительных приборов. Между этапами выдерживается пауза до полной стабилизации показаний приборов.

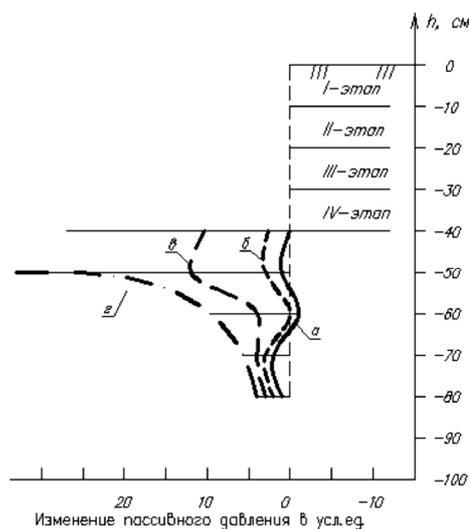


Рис. 3. Графики изменения пассивного давления на ограждающую стенку в процессе поэтапной разработки грунта:
а – I этап, б – II этап, в – III этап, г – IV этап

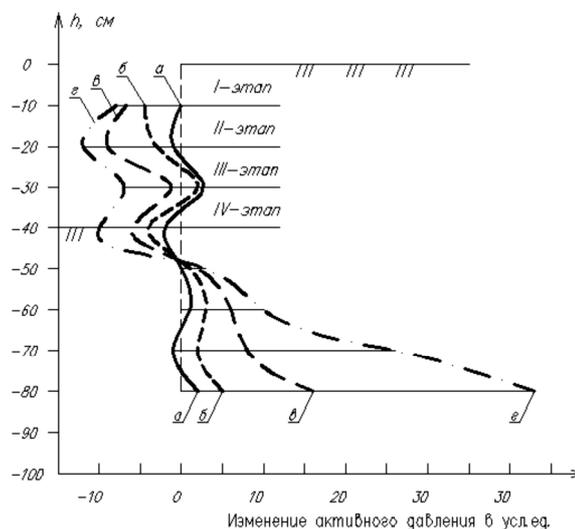


Рис. 4. Графики изменения активного давления на ограждающую стенку в процессе поэтапной разработки грунта:
а – I этап, б – II этап, в – III этап, г – IV этап

На рис. 3 и 4 представлены графики изменения активного и пассивного давлений на ограждающую стенку в процессе проведения испытаний. Графики построены по средним значениям результатов шести испытаний. Как уже говорилось ранее, контрольно-измерительные приборы позволили получить только качественную картину изменения давлений в массиве грунта. В качестве начального значения по оси абсцисс приняты значения давлений, соответствующие состоянию равновесия до начала экспериментов. Положительные и отрицательные значения в условных единицах означают увеличение или уменьшение давления по отношению к началу эксперимента.

По методу Блюма-Ломейера, наиболее популярного по расчету безанкерных тонких подпорных стенок, стенка изгибается и поворачивается относительно некоторой точки, находящейся достаточно близко к ее нижнему концу. В результате заглубленные в основание участки стенки выше и ниже этой точки испытывают реактивное давление, направленное навстречу направлениям смещений. Как показали проведенные авторами исследования, возможная точка поворота конструкции на I этапе возникает на отметке – 22 см. На II этапе точка поворота пытается сместиться по глубине, но зафиксированная перемещениями массива грунта в результате изгиба стены, останавливается на отметке – 25 см. На III этапе точка поворота уже зафиксирована на отметке – 50 см. На IV этапе разработки, как уже говорилось выше, зафиксированная перемещениями массива грунта в результате изгиба стены, точка поворота практически остается неизменной. Уменьшение давлений выше точки поворота конструкции объясняется отклонением стенки от вертикали и, вследствие этого, разгрузкой грунтового массива со стороны насыпи. Интенсивность сопротивления грунта ниже точки поворота со стороны насыпи, ввиду наличия большой пригрузки от веса грунта основания, весьма быстро увеличивается. Таким образом, с учетом поэтапной разработки грунта, точка поворота безанкерной тонкой подпорной стенки может оказаться весьма близкой к отметке глубины выемки. Решающее влияние на ее местоположение оказывает количество этапов и глубина разработки грунта в пределах этапа.

По классической схеме напряженно-деформированного состояния грунта на уровне дна котлована со стороны выемки величина пассивного давления грунта должна быть равной нулю. Однако если учесть, что отметка выемки котлована на каждом последующем этапе – это зона

максимальных значений пассивных давлений для предыдущих этапов, то в конечной фазе разработки грунта на уровне дна котлована получается зона наибольших давлений. Как показали испытания, пассивное давление грунта на протяжении всего эксперимента возрастает на отметках -40 см и -50 см. В результате откопки на данном уровне резко уменьшается пригрузка грунта и происходит разуплотнение и выпор грунта, что способствует дополнительным сдвиговым деформациям самой стенки.

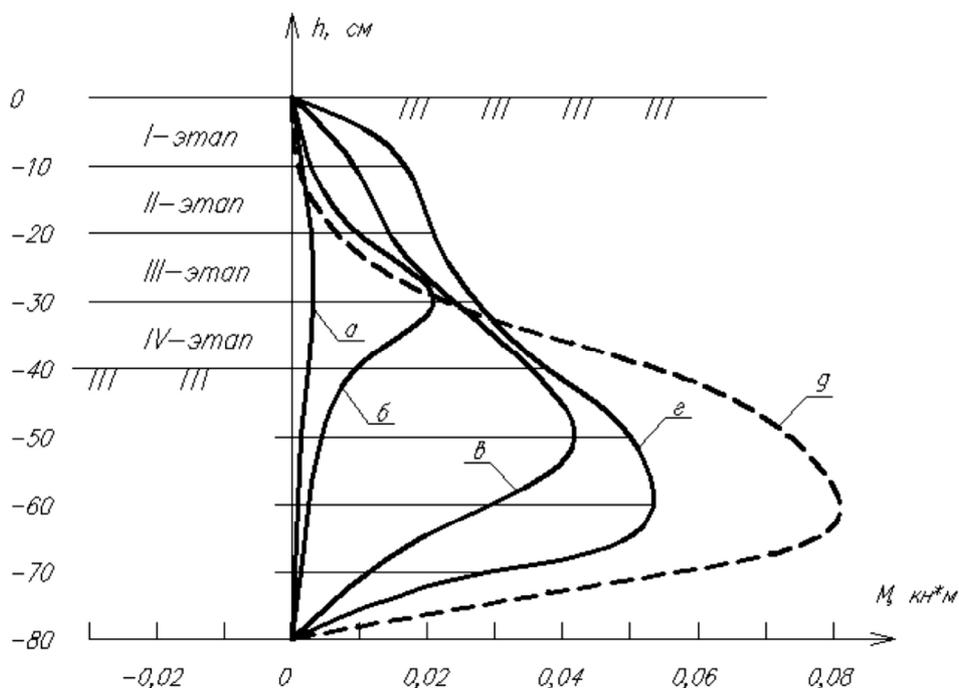


Рис. 5. Эпюра изгибающих моментов в ограждающей конструкции на различных этапах выемки грунта: а – I этап, б – II этап, в – III этап, г – IV этап, д – эпюра расчетных моментов

Значения изгибающих моментов в ограждающей конструкции представлены на рис. 5. По мере откопки грунта за ограждающей стенкой, зона максимального момента постепенно уходит вниз и к окончанию IV этапа зафиксирована на отметке -60 см. Положение участка с максимальным моментом соответствует теоретическим, однако величина экспериментального максимального момента на 52 % меньше. В то же время в верхней зоне ограждающей конструкции экспериментальные значения изгибающих моментов существенно больше теоретических значений. То есть уменьшение максимальных моментов компенсируется более равномерным распределением их по высоте стенки. Как показали эксперименты (рис. 7), интенсивное воздействие массива грунта начинается уже при первых этапах разработки грунта в виде призм обрушения. Первый блок призмы обрушения появился во втором этапе, после которого отклонение стенки от вертикали составило 13 мм. После III этапа появляется второй блок призмы обрушения, который, в свою очередь, оказывает давление на стенку и на первый блок соответственно. В то же время вектор давления первого блока на стенку уже имеет и вертикальную составляющую, так как угол наклона стенки уже близок к 10° . Вследствие всего этого верхняя часть стенки получает дополнительный изгиб, и увеличиваются изгибающие моменты. До отметки -30 см значения экспериментальных моментов превышают теоретические в несколько раз.

На рис. 6 и 7 представлены графики отклонения ограждающей конструкции от вертикали и образование призм обрушения. Расчетные значения отклонений от вертикали на всем протяжении эксперимента превышают расчетные значения до 2,2 раза. Указанные перемещения верха конструкции связаны также с появлением дополнительных изгибающих моментов, описанных выше. Углы наклона линий скольжений для всех призм обрушения хорошо согласуются с теоретическими значениями и находятся в пределах 29° - 34° . Однако на стенку действует несколько блоков, образовавшихся при различных этапах, что существенно меняет картину деформирования ограждающей конструкции. Необходимо отметить, что

мелкие трещины и оседание поверхности грунта в завершающем этапе эксперимента были зафиксированы на расстоянии до 50 см от ограждающей конструкции.

Проведенные натурные эксперименты и анализ их результатов позволили составить представление о влиянии разработки котлована на действительную работу ограждающих конструкций и массива грунта за ней. Технология производства работ (в данном случае рассматривалась поэтапная разработка котлована) существенно меняет напряженно-деформированное состояние грунтового массива и картину деформирования самой ограждающей конструкции.

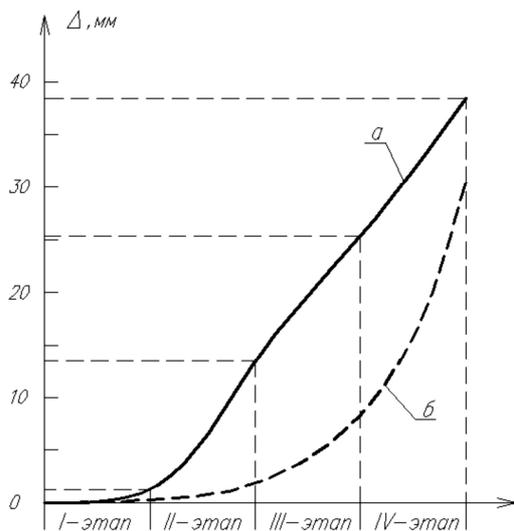


Рис. 6. Отклонения верха консольной стены на различных этапах разработки грунта:
а – экспериментальные значения,
б – расчетные значения

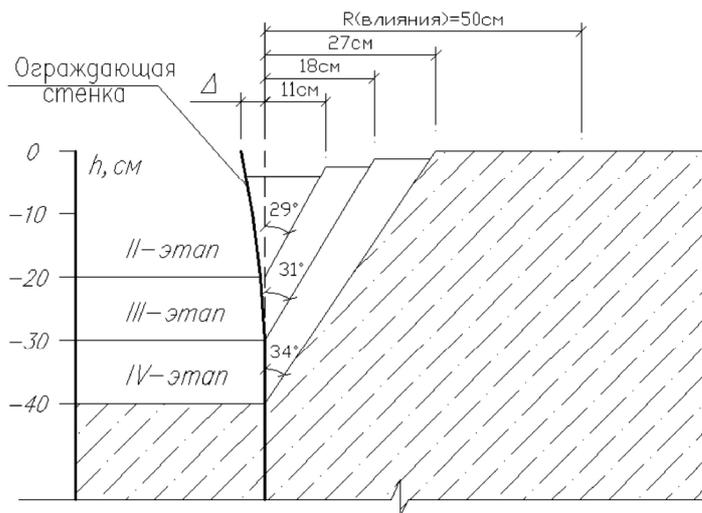


Рис. 7. Образование в массиве грунта призмы обрушения и отклонение верха ограждающей конструкции

Таким образом, на основании проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Действительный максимальный изгибающий момент в ограждающей конструкции меньше теоретических значений на 45-55 %. Положение сечения с максимальным моментом соответствует теоретическим значениям. Однако в верхней части стенки изгибающие моменты в несколько раз превышают расчетные значения, что необходимо учитывать при проектировании ограждающих стен с различными прочностными и жесткостными характеристиками по высоте конструкции.

2. В результате поэтапной разработки грунта положение предполагаемой точки поворота ограждающей конструкции определилось ниже дна котлована на ¼ высоты разрабатываемой части. Такое положение точки поворота негативно может повлиять на напряженно-деформированное состояние массива грунта со стороны разрабатываемой части котлована. Также в результате поэтапной разработки в завершающей фазе существенно меняется вид эпюры пассивного давления грунта. При этом резко возрастают напряжения в грунте в непосредственной близости от дна котлована, что способствует выпору поверхности грунта.

3. Максимальная величина смещения верха ограждающей конструкции составила 38 мм, что на 25 % превышает полученное существующими методами расчетное значение. В то же время на протяжении различных этапов смещение стенки происходило с превышением теоретических значений до 2,2 раза. Влияние разработки грунта в котловане проявилось в виде визуально наблюдаемых мелких трещин и оседания поверхности на расстоянии до 50 см, что превышает глубину разработки котлована на 25 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 30416-96. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. – М., 2005. – 11 с.
2. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформативности. – М., 2005. – 56 с.
3. Дидух Б.И., Иоселевич В.А. Смещение ограждающей стенки в процессе выемки котлована // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1996, № 6. – С. 2-6.

REFERENCES

1. GOST 30416-96. Soils. Laboratory testing. General requirements. – M., 2005. – 11 p.
2. GOST 12248-96. Soils. Laboratory methods for determining the strength and strain characteristics. – M., 2005. – 56 p.
3. Didukh B.I., Ioselevich V.A. Displacement of the enclosing walls during excavation pit // Osnovaniya, fundamenty i mechanika gruntov, 1996, № 6. – P. 2-6.