

Автореф.

К

Министерство высшего и среднего специального образования УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

Аспирант КОМАРНИЦКИЙ Владимир Иванович

**ИССЛЕДОВАНИЕ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК НА СТЕНЫ
И ДНО МОДЕЛИ ЗЕРНОВОГО СИЛОСА
С ВНУТРЕННЕЙ ОПОРОЙ**

Специальность 01.02.07. Механика грунтов, горных пород
и сыпучих материалов

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

ОДЕССА — 1974

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

на правах рукописи

Аспирант КОМАРНИЦКИЙ Владимир Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК НА СТЕНЫ И ДНО
МОДЕЛИ ЗЕРНОВОГО СИЛОСА С ВНУТРЕННЕЙ ОПОРОЙ

Специальность 01.02.07. Механика грунтов, горных
пород и сыпучих материалов

Переучет 1984

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

V.012 470

Одесский технологический
институт пищевой промышленности
имени М.В.Ломоносова
БИБЛИОТЕКА

Одесса - 1974

Работа выполнена на кафедре сопротивления материалов
Одесского технологического института пищевой промышленности
им. М.В. Ломоносова

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент А.В. Анатолев.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор ГОЛУБКОВ В.Н.

кандидат технических наук, доцент ЛЕБЕДИНСКИЙ В.Г.

Ведущая организация - Техническое управление Министерства
Заготовок РСФСР

Автореферат разослан "20" Декабря 1974г.

Защита диссертации состоится "21" января 1975г.

на заседании Ученого Совета механического и инженерно-экономичес-
кого факультетов Одесского технологического института пищевой
промышленности им. М.В. Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОТИИПЛ.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью
учреждения, просим прислать в Ученый Совет института по адресу:
270039, г. Одесса, А-39, ул. Свердлова, 112, Одесский технологи-
ческий институт пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук

Л. А. Запорожец

Главной задачей девятой пятилетки в области сельского хозяйства как указано в Директивах XXIV съезда КПСС, является всемерное увеличение производства и заготовок зерна. Для обеспечения бесперебойного приема, надлежащего размещения и хранения значительных объемов зерна намечено построить к концу 1975 года зернохранилищ общей емкостью 34,8 млн. тонн, в т.ч. элеваторов 29 млн. тонн.

Значительное увеличение объема строительства элеваторной емкости выдвигает задачу повышения надежности и долговечности силосных сооружений, т.к. они в процессе эксплуатации довольно часто приходят в негодность, разрушаются из-за чрезмерных деформаций.

В настоящее время наряду с улучшением методов расчета все большее значение приобретает совершенствование конструкций силосных сооружений. Среди ряда предложений, направленных на создание рационального конструктивного устройства силоса, привлекает внимание конструкция его с внутренней опорой, представляющей собой вертикальную круглую стенку, установленную на дне силоса.

Целью диссертационной работы является проведение теоретических и экспериментальных исследований механических процессов, протекающих в модели силоса с внутренней опорой, выяснение степени эффективности этого конструктивного решения и обоснование возможности его использования на практике.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Она изложена на 129 стр. машинописного текста, содержит рис. 45, табл. 4, библиографию 135.

Первая глава посвящена обзору литературы по повышению надежности и долговечности силосных сооружений путем совершенствования их конструкций и методов расчета. Рассмотрены работы отечественных и зарубежных исследователей в которых дан анализ факторов, определяющих прочность и надежность стен силосов зерновых элеваторов, освещены вопросы теоретических и экспериментальных исследований напряженного состояния столба сыпучего материала и изложены способы регулирования давления зерна на стены путем введения в силос различных устройств и конструктивных изменений.

Вопросы прочности и надежности работы стен силосов зерновых элеваторов ввиду их актуальности разрабатывались многими исследователями. В работах Анатольева А.В., Безухова Н.И., Гениева Г.А., Гячева Л.В., Дубынина Н.Г., Кандаурова И.И., Кима В.С., Клейна Г.К., Ковтуна А.П., Кузнецова С.М., Курочкина А.М., Лебедева Г.Б., Лебединского В.Г., Лукьянова П.И., Львина Я.Б., Осипова М.М., Петрова Б. П., Платонова П.Н., Сорокина Н.В., Тахтамышева С.Г., Трухлова А.М., Хорошего И.С., Шумского Д.В. и др. эти вопросы в той или иной мере нашли свое отражение. Основными причинами повреждения стен силосов являются: превышение принятых расчетных давлений сыпучего материала на стенки силоса, которое проявляется при выпуске, учет повторно-переменного характера давления на стены силоса при движении сыпучего материала, недостаточные знания условий совместной работы сыпучего материала и ограждающих его конструкций, учет вертикальных сжимающих усилий в элементах конструкций силоса, вызванных отпором грунта, недостаточное совершенство существующих конструкций силосов и методов их расчета.

Результаты экспериментальных исследований показывают тесную связь между конструкцией силоса и величинами горизонтальных давлений зерна на его стены. Многие исследователи (Анатольев А.В., Ким В.С., Платонов П.Н., Рембер М., Трухлов А.М., Хороший И.С. и

др.) указывают на то, что наряду с совершенствованием существующих методов расчета, наиболее рациональным путем повышения прочности стен силосов, обеспечения их надежности в эксплуатации, достижения экономии средств и материалов является совершенствование конструкций силосов, их строгое научное обоснование, выбор рациональных размеров.

На основе анализа литературных данных выбрано направление работы - исследование закономерностей распределения нагрузок, величин и характера их действия с целью выяснения эффективности конструктивного устройства силоса с внутренней опорой и сформулированы задачи исследований:

1. Аналитическим путем получить закономерности распределения нагрузок на дно и стены силоса с внутренней опорой и проверить их экспериментально на моделях.

2. Аналитически и экспериментально на моделях обосновать соотношения размеров внутренней опоры и силоса.

3. Экспериментальными исследованиями определить степень эффективности внутренней опоры в модели силоса с целью выяснения возможности использования такого конструктивного устройства в натуре.

Во второй главе обосновано принципиальное конструктивное устройство силоса с установленной на его дне внутренней опорой, проводятся исследования по определению величин и закономерностей распределения давлений и нагрузок от столба сыпучего материала в таком устройстве, указаны области его использования.

Вес сыпучего материала, находящегося в силосе, воспринимается его стенами и дном. В силосах с отношением высоты к диаметру больше четырех, доля веса сыпучего материала, воспринимаемая дном, значительно меньше, приходящаяся на стены; с ростом высоты столба сыпучего материала она уменьшается. Так, например, при заполнении

зернового силоса, диаметр которого 6м и высота 30м, нагрузка на его дно практически не возрастает, если высота столба зерна более 8-10 м.

Практика эксплуатации силосных сооружений свидетельствует о частом нарушении прочности и даже разрушении их стен, в то время как днища силосов не испытывали заметных нарушений прочности.

В связи с этим вполне обоснована постановка вопроса о конструктивном решении силоса, обеспечивающем целесообразное распределение нагрузки между стенами и дном. При решении этого вопроса следует изыскать такую возможность, чтобы вес части столба сыпучего материала, которая расположена в верхней зоне силоса и висит на стенах, при помощи жесткой связи-опоры передать непосредственно на дно, что позволит значительно уменьшить нагрузки на стены силоса.

Связь-опора может иметь различные конструктивные решения, удовлетворяющие следующим требованиям:

1. Опора должна разгружать стены силоса за счет передачи на дно веса покоящейся на ней части столба сыпучего материала, а также воспринимать часть веса столба сыпучего материала в пределах своей высоты.
2. Конструктивное оформление опоры должно быть таким, чтобы исключалась возможность движения сыпучего материала в силосе по второй форме.
3. Конструкция опоры должна быть простой и для ее осуществления не должно требоваться больших материальных затрат.

Руководствуясь соображениями прочности, жесткости и устойчивости конструктивного устройства опоры, технологичности ее осуществления, а также сохранения осесимметричности действия нагрузок, в цилиндрическом силосе целесообразно иметь опору, выполненную в виде внутренней вертикальной круглой стенки (рис. I). Для возмож-

ности полного опорожнения силоса стенка опоры в нижней части должна иметь отверстия для пропуска сыпучего материала.

При высоте столба сыпучего материала не превышающей предельного значения h_n , условия образования второй формы движения отсутствуют. Для зернового силоса

$$h_n = D_2 \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где φ — угол обрушения зерна.

Внутренняя опора обеспечит истечение зерна из силоса по первой форме при условии, что ее высота будет не менее

$$h = H - h_n, \quad (2)$$

где H — высота силоса

Целесообразность устройства силоса с внутренней опорой следует видеть при соблюдении следующего условия: отношение диаметров силоса D_2 и опоры D_1 (рис. 1) должно быть таким, при котором окружные растягивающие усилия в стенке силоса и опоры равны друг другу и вместе с тем значительно меньше, чем в стенке обычного силоса диаметром D .

Аналитическими исследованиями с принятым допущением о том, что вес горизонтального слоя столба зерна, выделенного в нижней зоне силоса (зоне расположения внутренней опоры), полностью уравновешивается силами трения между зерном и стенами показано, что это условие выполняется, когда

$$\frac{D_2}{D_1} = \sqrt{3} \quad (3)$$

Если зерновые круглые силосы будут выполняться с внутренними опорами, то окружные усилия в их стенках окажутся в три раза меньше, чем в стенке силоса такого же диаметра без опоры.

Наличие внутренней опоры изменит обычные для силосов условия движения зерна. При его истечении из отверстия в центре дна прои-

зойдет движение столба зерна внутри опоры и одновременно с этим "втягивание" зерна, находящегося на ее вершине. После опорожнения опоры начнется истечение из боковых нижних отверстий в стенке опоры.

Для того, чтобы в период эксплуатации окружные усилия в стенке опоры были весьма незначительны, она должна иметь окна для пропуска зерна, расположенные по высоте и периметру (рис. I). Наличие в стенке опоры перегускных окон обеспечит заполнение и опорожнение опоры одновременно с пространством между стенками. Выбор варианта опоры с окнами или без них определяется технологическими и экономическими соображениями.

Опора, установленная на дне силоса, разделяет его на две зоны - верхнюю и нижнюю, в которой расположена опора. Горизонтальные давления на стенку силоса в верхней, свободной от опоры зоне, определяется по известной формуле Янсена, а в нижней - из полученной зависимости

$$P_r = \frac{\gamma \rho_0}{f(1+\alpha\beta)} \left[1 - e^{-\frac{2kf(1+\alpha\beta)}{(1+\alpha)\rho_0} y} \right] + \rho_0 e^{-\frac{2kf(1+\alpha\beta)}{(1+\alpha)\rho_0} y}, \quad (4)$$

- где
- γ - объемный вес сыпучего материала;
 - f - коэффициент трения сыпучего материала у стенки силоса;
 - α - отношение горизонтальных давлений на стенку опоры и силоса;
 - β - отношение диаметров опоры силоса;
 - K - отношение горизонтального давления к вертикальному;
 - ρ_0 - горизонтальное давление на уровне верха опоры;

$$\rho_0 = \frac{D_2^2 - D_1^2}{4 D_2}.$$

Определяемое по (4) горизонтальное давление на стенку глубокого силоса в зоне расположения внутренней опоры состоит из двух слагаемых: первое из них значительно меньше давления, действующего на стенку силоса без опоры, давление же представляемое вторым слагаемым с ростом глубины y быстро убывает, асимптотически приближаясь к нулю.

Получены зависимости, позволяющие определять нагрузки на стены и дно для различных размеров силоса и опоры при произвольной высоте засыпки зерна. На рис. 2 представлены графики изменения нагрузок на дно и стены зернового силоса ($H = 30\text{м}$, $D_2 = 6\text{м}$) при наличии в нем опоры высотой $h = 18\text{м}$ для различных значений ее диаметра D_1 . Вычисления произведены для зерна пшеницы при $\gamma = 8 \cdot 10^3 \text{н/м}^3$, $K = 0,44$; $f = 0,4$. Из графиков следует, что с увеличением диаметра опоры нагрузка на стены силоса уменьшается, а на дно соответственно возрастает. Зоны графика, для которых $\frac{D_1}{D_2} < 1/6$ и $\frac{D_1}{D_2} > 2/3$ не представляют особого интереса, т.к. в первом случае создаются трудности для движения зерна внутри опоры, а во втором - в кольцевом пространстве между стенками силоса и опоры. Установка в силосе опоры с отношением диаметров $\frac{D_1}{D_2} = 1/\sqrt{3}$ перераспределяет нагрузки между стенами и дном таким образом, что большая часть веса засыпанного в силос зерна воспринимается дном (рис. 2).

Существенное снижение горизонтальных нагрузок на стены силоса с внутренней опорой и обеспечение движения сыпучего материала в таком конструктивном устройстве только по первой форме позволяют рекомендовать устройство внутренних опор вместо распространенного на практике метода усиления стен силосов путем их железобетонной облицовки.

Результаты расчетов показали, что прочность железобетонных внутренних опор (в сборном и монолитном вариантах) обеспечивается

конструктивными размерами их стен при минимальном нормативном коэффициенте армирования.

Устройство внутренних опор в силосах должно производиться с соответствующим усилением днищ силосов, т.к. нагрузки на днища значительно увеличиваются.

Произведенный расчет показал, что устойчивость железобетонных внутренних опор, выполненных в монолитном и сборном вариантах обеспечивается с более чем достаточным запасом.

В третьей главе изложены программа экспериментальных исследований, описание экспериментальной базы, методов исследований, а также произведена оценка точности измерений.

Программа исследований включала:

1. Исследование характера движения столба сыпучего материала в модели силоса с внутренней опорой.
2. Исследование влияния размеров внутренней опоры на перераспределение нагрузки от веса столба сыпучего материала между стенами и дном модели силоса.
3. Исследование распределения горизонтальных давлений по высоте и периметру стенки силоса-модели без опоры и при ее наличии.
4. Определение вертикальных нагрузок, воспринимаемых стенами и дном силоса-модели с внутренней опорой и без нее.
5. Исследование деформаций стенки силоса с внутренней опорой и без нее.
6. Сравнение степени разгрузки стен силоса внутренней опорой и другими известными конструктивными дополнениями.

В качестве основного метода исследований принята тензометрия. При проведении тензоизмерений использовались 8-ми канальный усилитель 8АНЧ-7М либо 4-х канальный ТА-5. Роль регистрирующих при-

боров исполняли шлейфовый осциллограф МПО-2^Л либо высокочувствительный гальванометр М108/1.

Недостатками тензометрии в приложении к исследованию сыпучих материалов является трудность осуществления температурной компенсации и ограниченность измеряемых относительных деформаций. Поэтому наряду с тензоизмерениями нами при исследованиях в сыпучих материалах применен метод пневмоизмерений, который свободен от указанных недостатков.

Для определения величин нагрузок, приходящихся на дно и стены силоса-модели использован метод исследования по началу перемещения жесткого дна.

Исходя из общих принципов физического моделирования и аффинного подобия изготовлены три модели силоса. Одна модель диаметром 0,2 м и высотой 1 м собиралась из дюралюминиевых блоков, вторая диаметром 0,2 м и высотой 1,25 м изготовлена из органического стекла. Эти две модели при проведении исследований заполняли сухим кварцевым песком (ГОСТ 6139-52). Третья модель диаметром 0,35 м и высотой 1,8 м выполнена из листовой стали и предназначена для заполнения зерном пшеницы.

Для проведения экспериментальных исследований служили две установки. Одна - для экспериментирования на моделях, заполняемых кварцевым песком, вторая (рис. 3) - на модели, заполняемой зерном пшеницы. При проектировании и изготовлении установок ставилась задача обеспечения максимальной независимости их узлов друг от друга с целью исключения наводок от деформаций несущих конструкций. Использовалась также специальная установка для проведения пневмоизмерений.

Для измерений давлений сыпучего материала на стенки моделей сконструированы датчики, работающие по принципу тензометрии и пневматики. При их изготовлении ставилось требование обеспечения

малых перемещений воспринимающего диска. Так, в пневмодатчиках максимальное перемещение воспринимающего диска при проведении измерений не превышало 20 микрометров. Для исследований деформаций стенки модели из оргстекла тензодатчики типов ПКБ-10-100 и ПКБ-10-200 наклеены непосредственно на стенку модели. Использовались также тензорезисторные мессдозы конструкции ЦНИИСК с гидравлическим преобразователем типа М70/II.

Произведены тарировки датчиков и аппаратуры. Пневмодатчики подвергались двойной тарировке - по давлению и перемещению. Наличие двух тарировочных графиков позволяло при проведении пневмоизмерений одновременно оценивать и сопоставлять давления воспринимаемые датчиком и перемещения его воспринимающего диска.

Изложен порядок обработки результатов экспериментальных исследований с применением аппарата математической статистики. Оценка точности результатов измерений производилась при помощи двух характеристик: средней квадратичной погрешности ΔS_n и надежности α - вероятности попадания истинного значения измеряемой величины в определенный доверительный интервал.

Четвертая глава отведена экспериментальным исследованиям. Здесь даны методики проведения экспериментов, результаты исследований и их анализ, а также экономическое обоснование принципиального конструктивного устройства силоса с внутренней опорой.

Характер движения столба сыпучего материала в конструктивном устройстве силоса с внутренней опорой исследовался на модели с прозрачной стенкой и на модели, заполняемой зерном пшеницы ($D_2=0,35\text{м}$) $H=1,8\text{ м}$). Для оценки характера движения внутри столба сыпучего материала использовалась плоская модель с прозрачными стенками из оргстекла. Эта модель заполнялась кварцевым песком слоями одинако-

вой высоты, которые отделялись друг от друга прослойками окрашенного песка. Исследования показали, что наличие в моделях силосов внутренних опор, размеры которых определяются зависимостями (2) и (3), обеспечивало с самого начала выпуска истечение сыпучего материала только по первой форме, т.е. с образованием на свободной поверхности воронки. Указанным экспериментам предшествовали исследования характера движения столба сыпучего материала в моделях без внутренней опоры, а также на натуральных силосах Одесского портового элеватора.

Для того, чтобы установить как влияют размеры внутренней опоры на перераспределение нагрузок от веса столба сыпучего материала между стенками и дном силоса проведены эксперименты, заключающиеся в измерении величины нагрузки, воспринимаемой дном. Исследования проводились на двух моделях диаметром 0,3 м с высотами 0,535 м и 1 м. В загружаемые кварцевым песком модели вводились внутренние опоры различных размеров. Опоры выполнялись в двух вариантах - сплошные и "облегченные", последние имели окна для пропуска песка, расположенные по высоте и периметру. Площадь окон составляла примерно 50% боковой поверхности опоры.

Характер изменения нагрузки, воспринимаемой дном при наличии сплошной опоры диаметром D_1 и высотой h представлен для модели с соотношением $\frac{H}{D_2} = 2,67$ на рис. 4,а и для модели с $\frac{H}{D_2} = 5$ на рис. 4,б. На этих графиках Q_0 - нагрузка, воспринимаемая дном модели без опоры.

Анализ результатов этих исследований показал, что размеры внутренней опоры можно определять предложенными аналитическими зависимостями.

С целью опытной проверки зависимости (4) проведены исследования на жестких моделях силосов диаметром 0,2 м с высотами 0,535 м и 1 м по определению горизонтальных давлений на стенку модели без

опоры и с ней. На рис. 5 представлены графики аналитических и экспериментальных горизонтальных давлений на стенку силоса-модели ($\frac{H}{D_2} = 5$) без опоры и при ее наличии. В верхней зоне силоса, свободной от внутренней опоры, аналитические давления на стенку силоса с опорой (сплошная линия) и без нее (штриховая) одинаковы.

Полученные экспериментально величины горизонтальных давлений на стенку силоса с опорой на уровне верха последней и выше нее (сплошная линия) оказались значительно меньшими соответствующих давлений в верхней зоне силоса без опоры (штриховая линия). Это объясняется тем, что столб сыпучего материала над опорой находится в условиях допредельного равновесия относительно стен, поскольку для него заполненная вертикальная круглая стенка является опорой подобно дну. Различие в характерах аналитической и экспериментальной зависимостей также объясняется наличием на уровне верха опоры и у дна силоса зон допредельного равновесия столба сыпучего материала относительно стен; существование этих зон не нашло своего отражения в аналитических выкладках.

Исследования деформаций стенки модели силоса при движении сыпучего материала проводились на модели диаметром 0,2 м и высотой 1,25 м, выполненной из оргстекла. Экспериментами на модели без внутренней опоры выявлено, что при опорожнении деформации стенки значительно возрастали по сравнению с соответствующими при заполнении. На рис. 6,а приведены графики, характеризующие изменение относительной деформации стенки на высоте 0,5 м от дна в зависимости от высоты столба сыпучего материала в модели при заполнении (сплошная линия) и опорожнении (штриховая).

Особый интерес представляют результаты, полученные при производстве опытов, состоящих в заполнении, 10-30 минутной выдержки, частичном опорожнении с последующей выдержкой, повторном заполнении и т.д. На рис. 6,б представлены графики, характеризующие накоп-

ление деформаций стенки на высоте 0,5 м от дна модели, полученные по данным эксперимента, состоящего в заполнении, 15-минутной выдержки, частичном опорожнении, 20-минутной выдержки, повторном заполнении и полном опорожнении модели.

Установка на дно модели внутренней опоры в "облегченном" варианте приводила к значительному снижению деформаций при заполнении и опорожнении (рис. 6, в); в случае повторных заполнений и опорожнений накопления деформаций не наблюдалось.

Приводятся исследования изменения характера действия горизонтальных давлений на стенку силоса-модели. Эти исследования проводились на установке (рис. 3) с использованием модели, загружаемой зерном пшеницы ($D_2 = 0,35$ м, $H = 1,8$ м) и преследовали цель выяснения закономерностей распределения горизонтальных давлений по высоте и периметру стенки модели без внутренней опоры и с нею при различных производительностях заполнения и опорожнения.

Сначала исследовался характер распределения горизонтальных давлений по высоте и периметру стенки модели без внутренней опоры. В процессе заполнения модели давление на ее стенку плавно возрастало, достигая максимального значения при полной загрузке. При выпуске движение столба зерна происходило по второй форме. Переход к первой форме движения наблюдался лишь тогда, когда уровень зерна в модели снижался до высоты 0,7-0,8 м. Давление, полученное при заполнении в начале выпуска резко увеличивалось, затем медленно возрастало до тех пор, пока уровень зерна над датчиком не снижался до 0,2 + 0,35 м. Лишь после этого наблюдался постепенный спад давления. В процессе опорожнения модели наблюдались колебания величин давлений с амплитудой 30-70 н/м² и периодом 1 - 2 сек.

Затем проводились эксперименты на модели с внутренней опорой в сплошном и "облегченном" вариантах. Горизонтальные давления на стенку модели с внутренней опорой при заполнении и опорожнении

значительно меньше соответствующих давлений без опоры. В начале выпуска зерна из модели с внутренней опорой наблюдалось образование на свободной поверхности воронки. Давления, полученные при заполнении, в начале выпуска незначительно возрастали, а затем постепенно уменьшались в процессе опорожнения. Колебания давлений при опорожнении модели с внутренней опорой не наблюдались.

Сопоставление результатов, полученных для двух вариантов опор — без перепускных окон и с ними показывает, что больший эффект разгрузки стен модели достигается при установке в ней сплошной опоры; он меньше на 8–15% при установке "облегченной" опоры. С уменьшением отношения площади перепускных окон к площади боковой поверхности "облегченной" опоры эффект разгрузки стен модели увеличивается.

Следует полагать, что в натуральных условиях степень разгрузки стен силоса "облегченной" опорой имеющей перепускные окна с площадью, составляющей 3–4% боковой поверхности опоры, будет мало отличаться от той, которую обеспечит сплошная опора.

Проведены исследования по определению нагрузки от веса столба зерна, воспринимаемой внутренней опорой. Их результаты представлены графиками на рис. 7. В момент начала выпуска зерна из модели без внутренней опоры наблюдается резкое снижение нагрузки на дно. Это объясняется тем, что столб зерна "зависает" на стенах модели вследствие перехода его от условий допредельного к предельному равновесию относительно стен в нижней зоне модели. При выпуске зерна из модели с опорой уменьшение нагрузки на дно не проявлялось.

Экономический расчет для двух вариантов предотвращения стен силосов от разрушений — путем усиления стен железобетонной облицовкой и устройства в силосе внутренней опоры произведен сопоставлением затрат в сравниваемых вариантах. Устройство внутренней опоры эффективней усиления стен силоса железобетонной облицовкой.

Годовой экономический эффект составляет 132 руб. на 1000 т емкости силосного сооружения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные аналитические и экспериментальные исследования распределения нагрузок на стены и дно модели силоса с внутренней опорой позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Устройство внутренней опоры в силосе приводит к значительному снижению горизонтальных нагрузок на стены силоса и обеспечивает движение столба сыпучего материала в силосе только по первой (несвязной) форме.
2. Снижение эксплуатационных нагрузок на стены силоса с внутренней опорой происходит вследствие перераспределения нагрузки от веса столба сыпучего материала между стенами и дном таким образом, что большая часть этой нагрузки воспринимается дном силоса.
3. Эффективность "облегченных" внутренних опор с перепускными окнами, площадь которых составляет до 50% боковой поверхности опоры, незначительно отличается от эффективности внутренних опор без перепускных окн.
4. Устройство внутренней опоры в силосе ликвидирует колебания нагрузок на стены и значительное их увеличение в начале выпуска, а также имеющее место при эксплуатации обычных силосов явление накопления деформаций стен.
5. В силосе с внутренней опорой величины горизонтальных нагрузок на стены не зависят от производительности заполнения и опорожнения.

6. Разгрузка стен силоса с внутренней опорой значительно больше той, которая обеспечивается введением в силос других известных конструктивных дополнений.

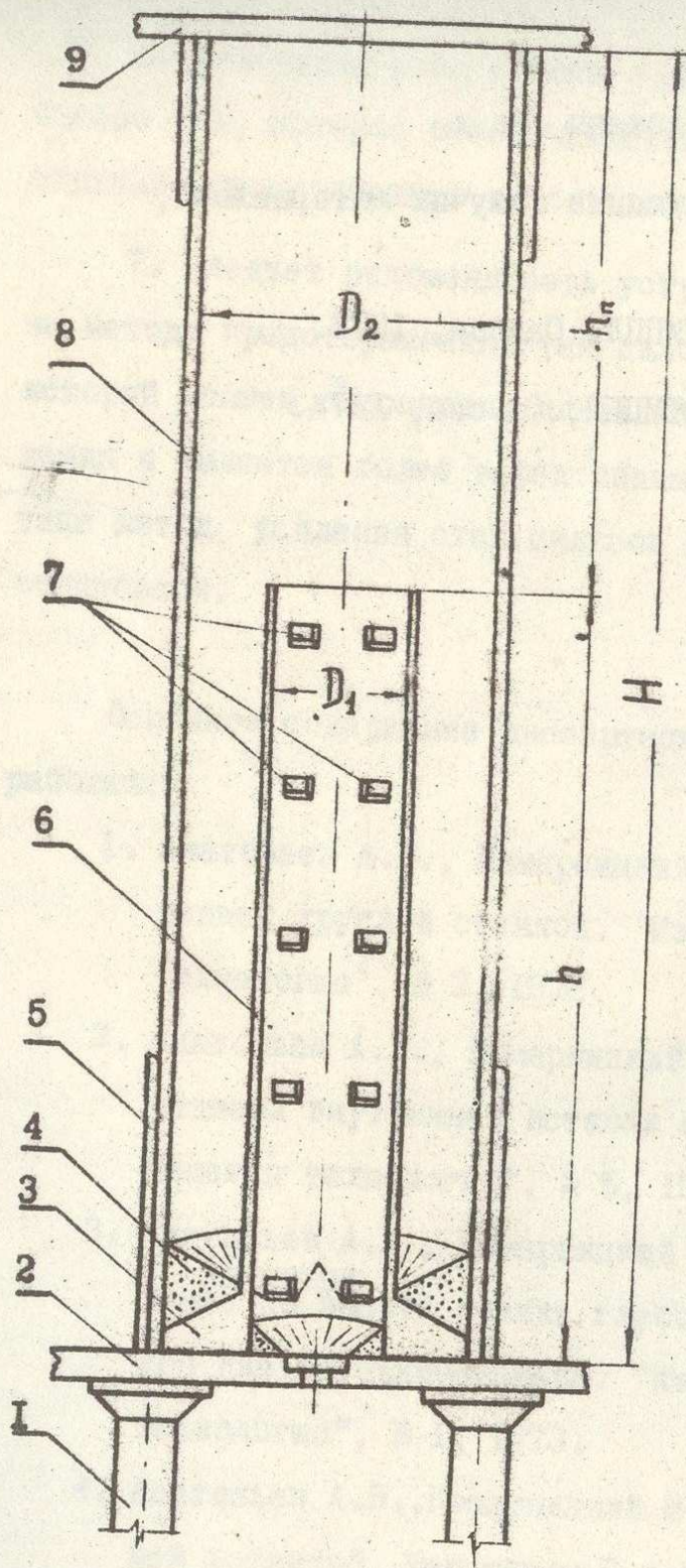
7. Следует рекомендовать устройство внутренних опор в качестве метода предотвращения стен силосов от разрушений, как такого, который должен обеспечить длительную эксплуатацию силосного сооружения и является более эффективным чем распространенный на практике метод усиления стен силосов внутренней железобетонной облицовкой.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Анатольев А.В., Комарницкий В.И. Глубокий силос с внутренней круглой стенкой. "Известия вузов СССР. Пищевая технология", № 2, 1972.
2. Анатольев А.В., Комарницкий В.И., Петров Р.П. Оптимальные размеры внутренней вставки силоса. "Известия вузов СССР. Пищевая технология", № 5, 1972.
3. Анатольев А.В., Комарницкий В.И., Чоботов В.П. Распределение давления по высоте стенки глубокого сосуда при установке на его дне вставки-стакана. "Известия вузов СССР. Пищевая технология", № 1, 1973.
4. Анатольев А.В., Комарницкий В.И. Глубокий силос с внутренней вставкой. Материалы II всеконф. "Механика сыпучих материалов", Одесса, 1971.
5. Анатольев А.В., Комарницкий В.И., Чоботов В.П. Повышение прочности стен глубоких зерновых железобетонных силосов. М., 1974.

Материалы диссертации доложены на :

1. II Всесоюзной конференции "Механика сыпучих материалов",
Одесса, 1971.
2. XXXIII научной конференции ОТИПШ, Одесса, 1972.
3. XXXIV научной конференции ОТИПШ, Одесса, 1974.



- I - колонны подсилосного этажа
- 2 - подсилосная плита
- 3 - основание опоры
- 4 - забутка
- 5 - стенка соседнего силоса
- 6 - стенка опоры
- 7 - перепускные окна
- 8 - стенка силоса
- 9 - надсилосная плита

Рис. I

Конструктивное устройство глубокого силоса с внутренней опорой.

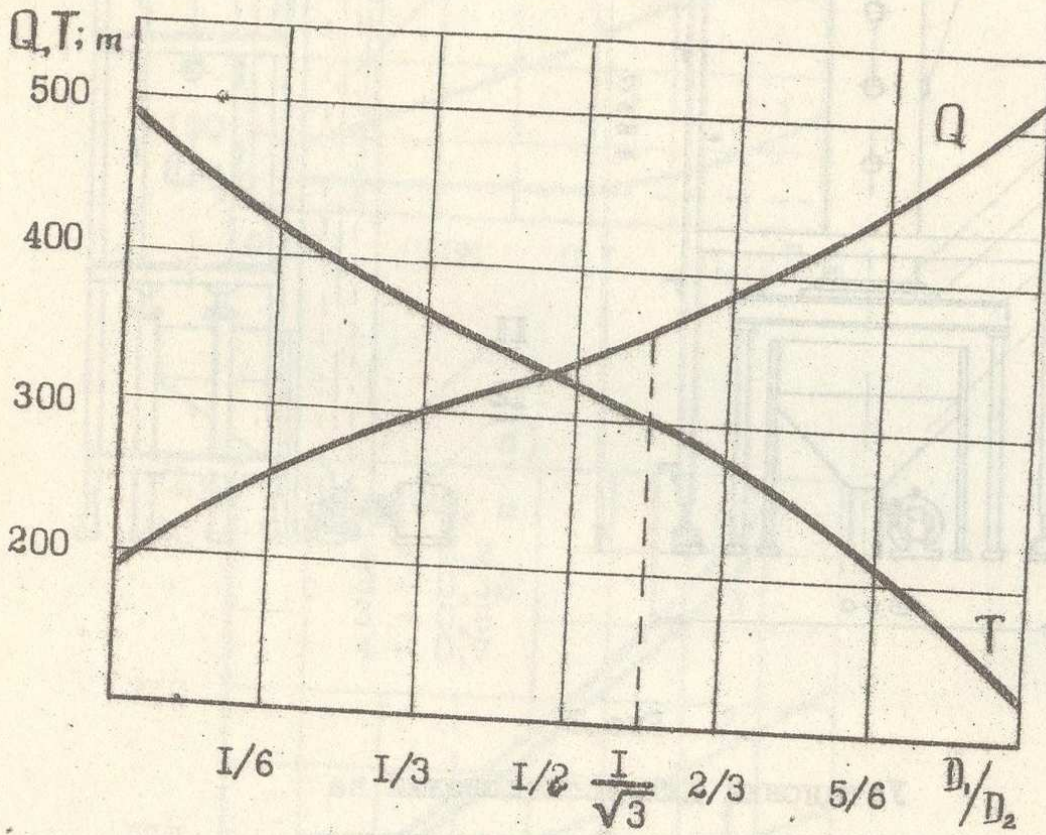


Рис.2
Изменение нагрузок на дно (Q) и стены (T)
типового силоса с внутренней опорой.

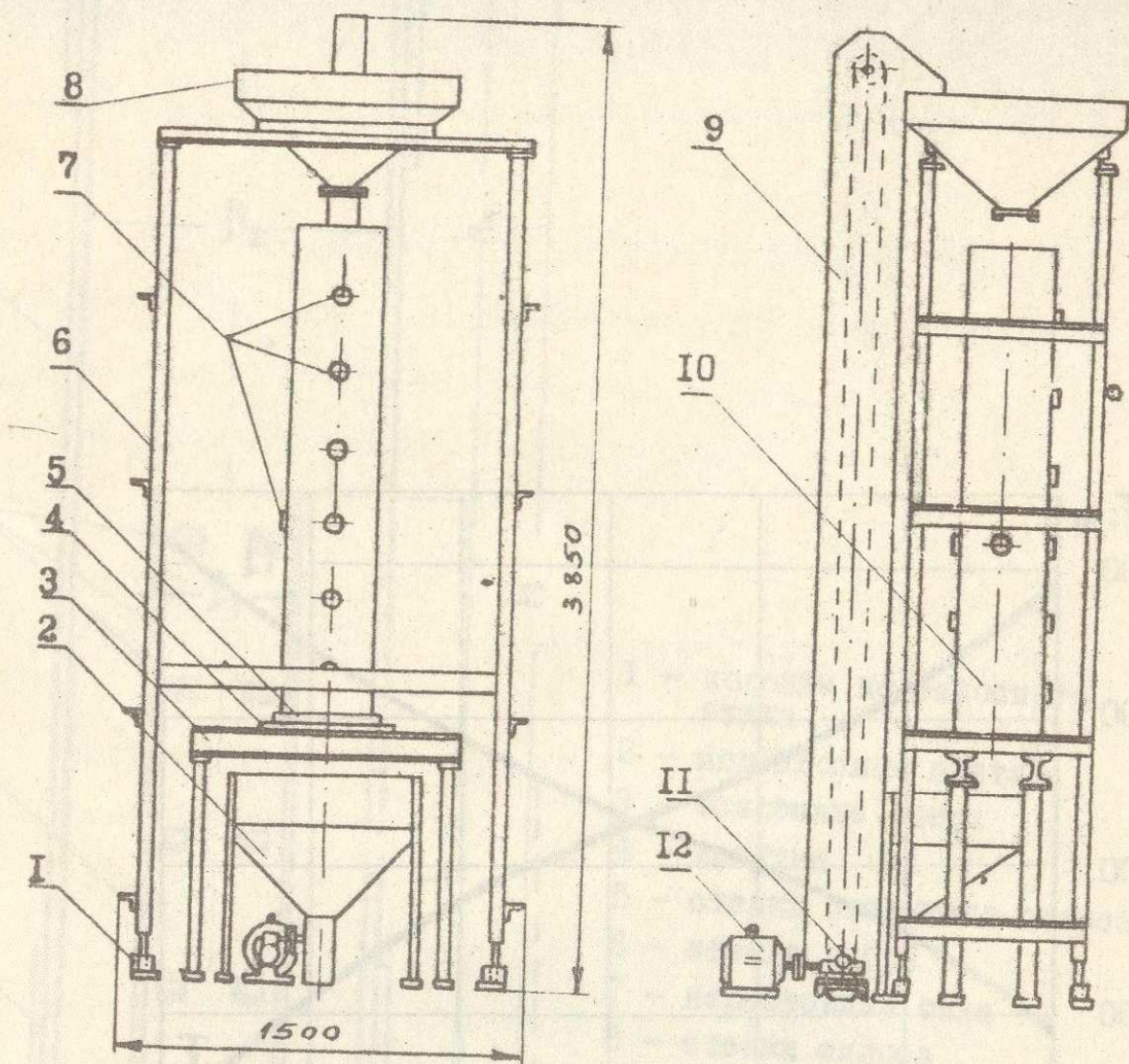


Рис.3

Установка для исследований на модели, заполняемой зерном пшеницы

I - установочные винты; 2 - приемный бункер; 3 - рама рабочего стола; 4 - рабочий стол; 5 - опорное кольцо; 6 - рама установки; 7 - датчики; 8 - питающий бункер; 9 - нория; 10 - модель силоса; II - редуктор; I2 - электродвигатель.

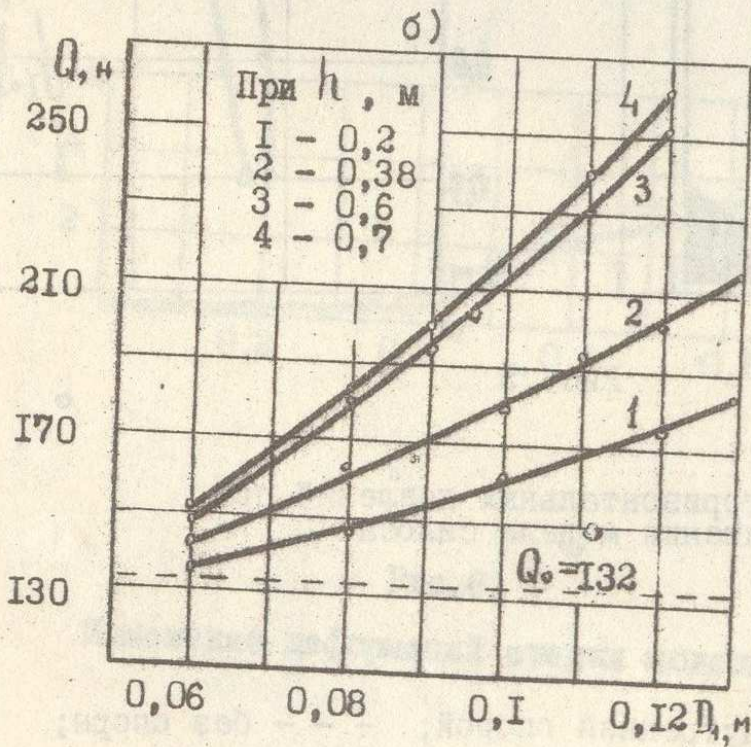
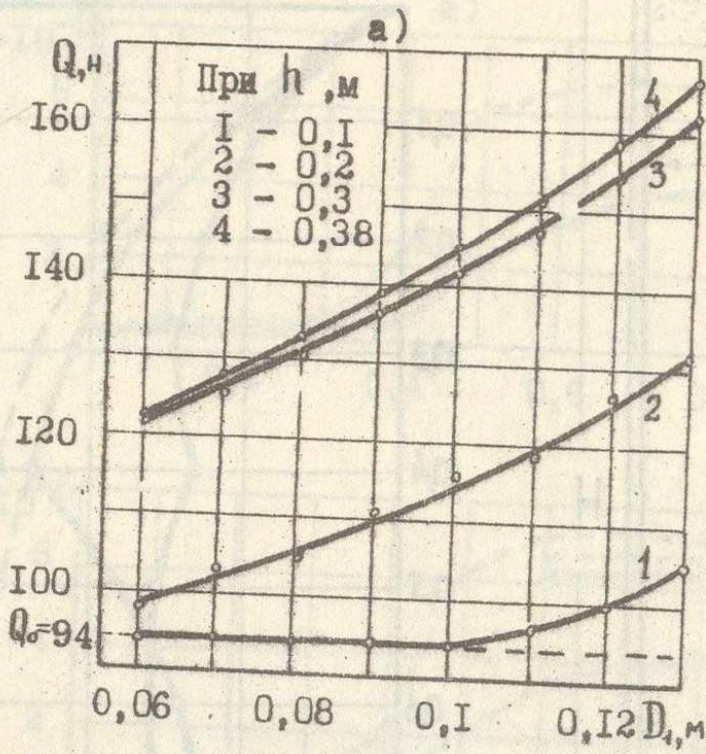


Рис. 4

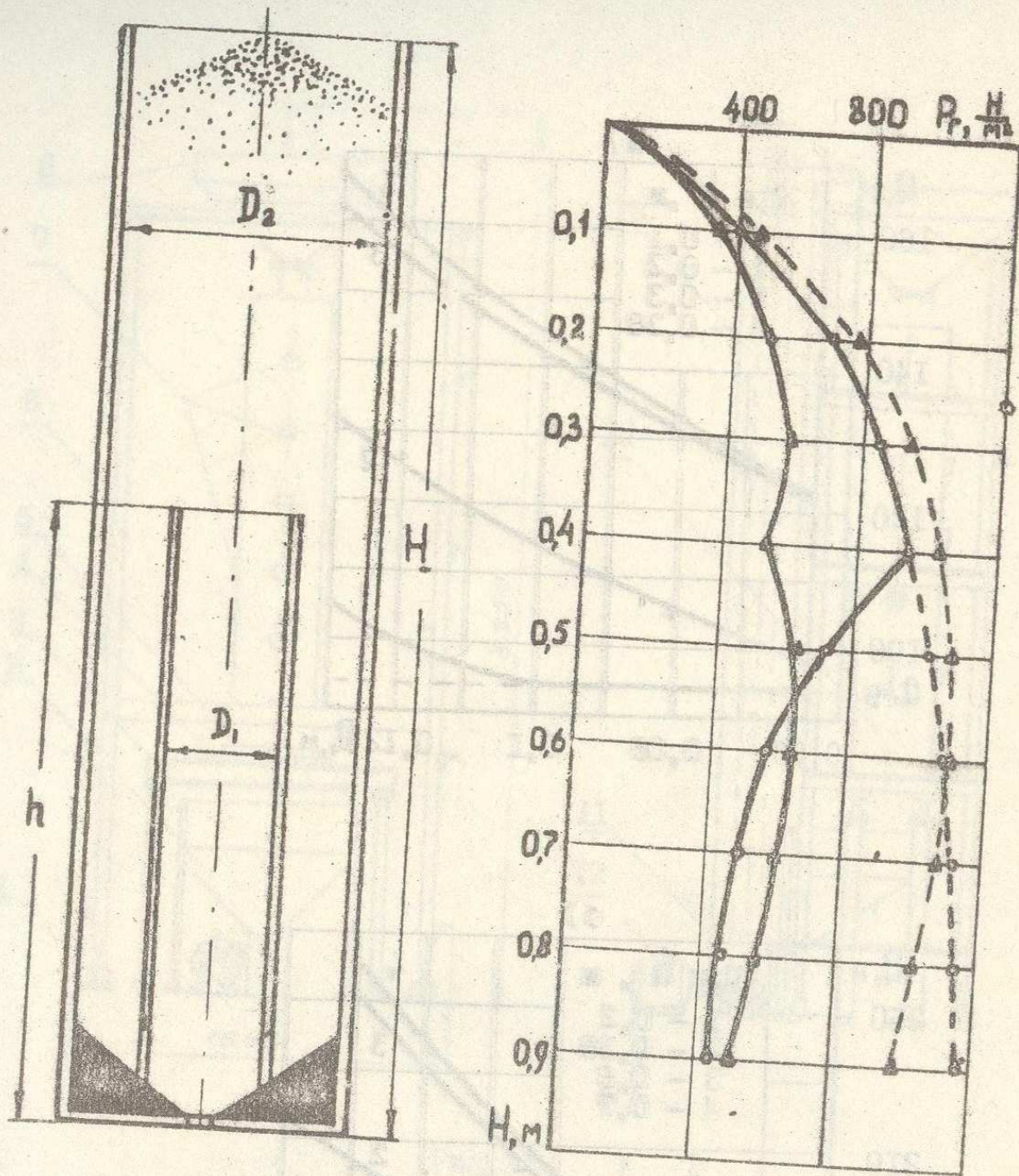


Рис. 5

Изменение горизонтальных давлений при
заполнении модели силоса

— с внутренней опорой; - - - без опоры;

○ - теоретические; ▲ - экспериментальные.

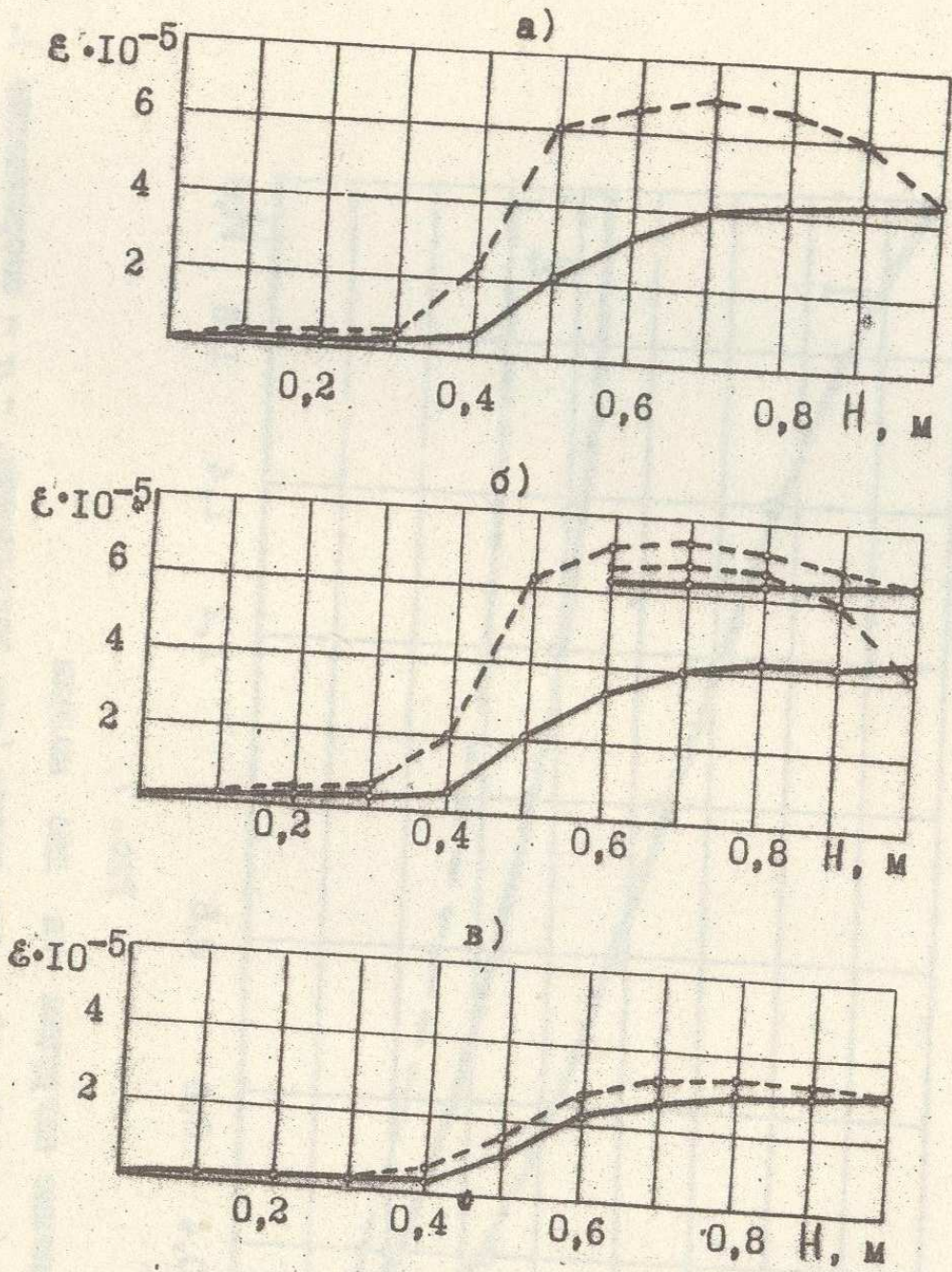


Рис.6

Изменение деформаций стенки модели силоса.

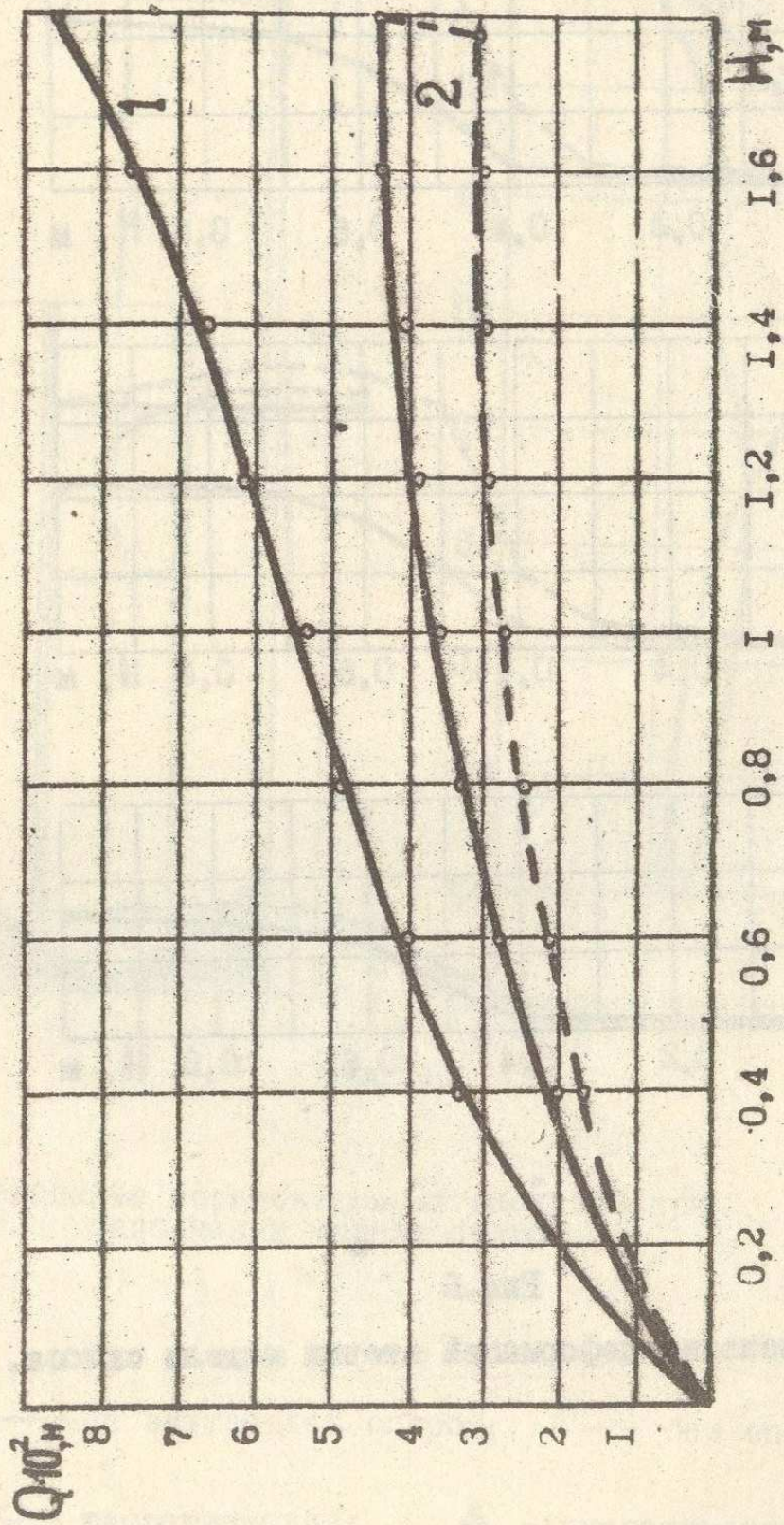


Рис. 7

Изменение нагрузки на две модели

1 - с внутренней опорой; 2 - без опоры (--- заполнение, - σ - опорожнение).