

2. Золотов М.С., Барч Н.З., Крытов В.Г. Крепление оборудования и коммуникаций при помощи приклейки эпоксидным клеем к поверхности железобетонных конструкций // Передовой опыт строительства. Экспресс-информация ЦБНТИ Минтяжстроя СССР. Серия 1. Вып. 8. – 1978. – С. 6-8.

3. Золотов М.С., Шутенко Л.Н., Гревцев М.Л. Сталеклеевые крепления технологических конструкций при реконструкции зданий и сооружений // Развитие, совершенствование и реконструкция специальных сварных стальных конструкций зданий и сооружений: Тез. докл. IV Украинск. респ. науч.-техн. конф. Сб. №4. – Симферополь, 1988. – С. 16-18.

4. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Черкасский И.Г. и др. Клеевые соединения древесины и бетона в строительстве. – К.: Будівельник, 1990. – 136 с.

5. Золотов М.С., Фесенко Т.Г. Задача о напряженно-деформированном состоянии соединения сталь-бетон на акриловых клеях // Науковий вісник будівництва. Вип. 12. – Харків: ХДТУБА, 2001. – С. 73-77.

Получено 16.04.2001

УДК 624.954.012.45

Г.А.МОЛОДЧЕНКО, д-р техн. наук

Харьковская государственная академия городского хозяйства

ВЗАИМОСВЯЗЬ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА НА СТЕНЫ СИЛОСОВ С КИНЕТИКОЙ ЕГО ИСТЕЧЕНИЯ ПРИ ВЫГРУЗКЕ

Приведены результаты экспериментальных исследований горизонтального давления сыпучего материала при загрузке и выгрузке, показана их взаимосвязь с кинетикой истечения при выгрузке для различных условий эксплуатации.

Экспериментальные исследования по изучению закономерностей формирования горизонтального давления сыпучих материалов на стены цилиндрических силосов проводили на натуральных объектах и на модельных емкостях. Использовали два способа определения давления – прямой, позволяющий непосредственно регистрировать величину давления с помощью датчиков (месдоз), и косвенный, основанный на анализе напряженно-деформированного состояния стен с последующим отысканием соответствующего ему закона изменения давления по высоте и периметру стен.

Первыми такими исследованиями были опыты С.Г.Гахтамышева [1] с участием М.И.Хаймовича на элеваторе в г.Баку в 1938-1939гг. на двух силосах нового монолитного железобетонного силосного корпуса ($H=28$ м, $D=7$ м, $\delta=16$ см, $H/D=4,0$) и на одном силосе старого корпуса ($H=19,8$ м, $D=4,8$ м, $\delta=15$ см, $H/D=4,0$). Было установлено, что при простой выгрузке и проточном режиме горизонтальные давления сыпучего материала (зерна) в 2,3-4 раза превысили теоретические по Янсену в состоянии покоя. В этой связи следует отметить:

- 1) шаг установки датчиков давления 3,5 м по высоте является завышенным. Вполне вероятны положения максимума между двумя смежными уровнями установки датчиков;
- 2) опытами подтверждена сложная картина распределения давления по высоте и периметру;
- 3) зафиксирована слабая повторяемость опытов при идентичных замерах давлений;
- 4) повышение и снижение давления по показаниям датчиков, расположенных на одном уровне;
- 5) характерно наличие пиковых зон повышенного давления по высоте емкостной части силосов.

В дальнейших исследованиях вопросам точности измерения давлений и оценки погрешности датчиков давления было уделено большее внимание [2].

Последующие экспериментальные исследования давления зерновых сыпучих материалов, выполненные В.С.Кимом, П.Н.Платоновым и его школой, А.М.Трухловым и его школой, И.С.Хорошим, Г.И.Бердичевским, Ф.А.Иссером и др., подтвердили факт повышения давления сыпучего материала на стенки силосов при выгрузке и проточном режиме работы емкостей. Кроме того, было установлено качественное и количественное совпадение результатов экспериментальных исследований [3]. Так, практически все исследователи отмечали, что в состоянии покоя опытные значения давления и расчетные по Янсену удовлетворительно согласуются между собой. При выгрузке и проточном режиме В.С.Ким получил увеличение давления на стены силосов в 3,7 раза по сравнению с состоянием покоя, П.Н.Платонов – в 2,6 раза.

Из зарубежных опытов на натуральных силосах наибольший интерес представляют исследования К.Тakahaski и Н.Сamahara [4], проведенные в Японии в 1962г. на монолитных железобетонных силосах ($H=20,5$ м, $D=4,96$ м, $H/D=4,0$). В опытах применены месдозы типа А диаметром 70 мм с использованием тензодатчиков в цепи первичного преобразователя и месдозы типа Б электромагнитного принципа действия. Датчики устанавливали по двум диаметрально расположенным образующим, при этом в нижней трети силоса их шаг по высоте был принят 1 м, что позволило четко фиксировать форму эпюры давления и положение максимума этой эпюры.

Из анализа полученных данных следует, что в процессе центральной разгрузки давления в верхних зонах близки к вычисленным по формуле Янсена, а в нижней зоне существенно (в 2-2,5 раза) их превышают. Размер зоны максимальных горизонтальных давлений по высоте не превышает величины радиуса силоса, а центр зоны в процес-

се разгрузки может перемещаться по вертикали.

Авторы [4] отмечают, что теория Янсена не объясняет закономерность распределения горизонтального давления по высоте и недооценивает его максимальную величину.

Практически все исследователи пришли к выводу, что увеличение давления связано с особенностями истечения сыпучего внутри емкости, однако наблюдение за движением частиц в натуральных условиях затруднено. Наиболее распространено наблюдение за изменением формы поверхности засыпки, которая изменяется при переходе от движения "столбом" к "воронкообразному", образуя воронку истечения. И.С.Хороший наблюдал за пристенным движением потока через прозрачные окна из оргстекла размером 300х300 мм. Ни первый, ни второй способы наблюдения за движением сыпучего не дают полной информации о кинетике истечения, что не позволяет установить физическую модель процесса истечения и связанного с ним формирования давления на стенки емкости.

Наиболее детально указанную взаимосвязь можно установить при исследованиях особенностей истечения и напряженно-деформированного состояния стенок емкостей и массива сыпучего на моделях. Такие исследования проводили применительно к силосам круглого, прямоугольного и квадратного в плане сечений [5-13]. Часть из них посвящена изучению горизонтального давления сыпучего материала на стенки и дно силосов при загрузке, выгрузке или проточном режиме. По результатам и характеру развития деформаций в стенках моделей авторы с определенной степенью достоверности делают выводы о величине и характере действующей на стены нагрузки. Обобщенные сведения о проведенных исследованиях на моделях и их результаты приведены в таблице. Из нее следует, что для изучения давления применялись модели из разных материалов, с различным соотношением высоты к диаметру. Изменялись режимы загрузки и выгрузки, способы формирования плотности загружаемого материала, величина трения на контакте сыпучее-стенка. Установлено, что при выпуске или проточном режиме давление $P_{дин}$ на стенки возрастает по сравнению с состоянием загрузки $P_{ст}$ в 1,1-6 раз, причем обнаружены типовые зоны повышения давления, располагаемые на границе между нижней и средней третями силоса по высоте. Степень увеличения давления при выгрузке зависит от формы движения сыпучего в емкости.

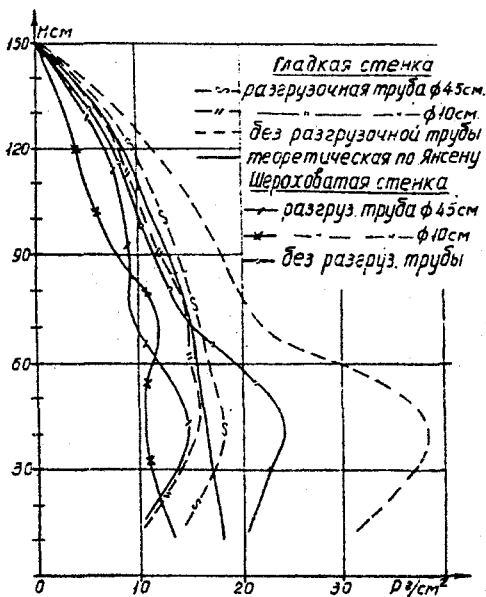
При исследовании давления на прозрачных моделях удавалось сопоставить характер движения сыпучего материала на контактной поверхности с характером и величиной нагрузки на стенку силоса.

Экспериментальные исследования давления и напряженно-деформированного состояния стен силосов на моделях

№ п/п	Авторы	Материал		Конструкция модели				Измерение давления			Источник	
		модели	засыпки	сече- ные	размер, см в, Д	высота, см	целое сечение	половина сечения	прямое	косвен- ное		$\frac{P_{\text{дин}}}{P_{\text{ст}}}$
1	Бернштейн М.С.	сталь	песок рожь	○	20 35	80 140	- -	+	+	- -	1,6	[5]
2	Галетов А.П.	стекло- ткань	зерно	○	80	400	+	-	-	+	2,1	[6]
3	Ким В.С.	дерев.	пшеница	□	100	640	+	+	+	+	2,5	[3]
4	Ким В.С.	стальн.	пшеница	○	100	640	+	+	-	+	5-6	[3]
5	Ковтун А.П. Платонов П.Н.	стальн.	зерно	□	26	130	+	-	-	+	-	[7]
6	Панкратова Г.Е. Трухлов А.М.	фанера	зерно	⊗	80	400	+	-	-	-	-	[7]
7	Осяпов М.М.	оргстекло	манная крупа	○	10	50	+	+	-	+	2,0	[8]
8	Шагивалеев К.Ф.	эпоксидная смола	загруз. прислосobl.	○	13,64	64	+	+	-	-	-	[9]
9	Хороший И.С. Красичкова- Терновская Н.Ф.	оргстекло	пшеница	○	30	150	+	+	-	+	1,5-2,5	[10]
10	Collins P.	алюминий	песок	○	114	360	+	+	-	+	-	[11]
11	Lepszner D.	сталь	пшеница	○	25	150	+	+	-	+	давл. на дноше	[12]
12	Pfeger K. Wenzel F.	сталь	песок	○	30	308	разрезка по диа- метру и 2-м обра- зующим	+	+	-	1,1-1,2	[13]

Наиболее характерной иллюстрацией комплексного исследования могут служить результаты опытов И.С.Хорошего и Н.Ф.Красичковой-Терновской [10], приведенные на рисунке. В данном случае удачно сопоставлены результаты экспериментов с различной шероховатостью стенок модели, с применением разгрузочных устройств и без них как для случая загрузки, так и выгрузки сыпучего материала из модели.

Определению зависимости величины и характера давления от формы истечения на моделях силосов и натуральных объектах посвящены также исследования М.С.Бернштейна, А.В.Дженике, Н.Г.Дубынина и Б.Н.Щекотихина, А.Г.Иммермана, Р.Квапила, Ф.Е.Керемана, Н.Г.Залогина, И.П.Линчевского, Г.М.Малахова и В.Р.Безух, М.М.Осипова, Г.И.Покровского и А.И.Арефьева, Д.В.Шумского и др. В ряде работ характер движения сыпучего материала устанавливался по результатам перемещения окрашенных слоев сыпучего во времени по плоскости контакта с прозрачной перегородкой в емкости [13, 14] или по результатам перемещений в плоских моделях с прозрачными стенками. Наблюдаемая и фиксируемая закономерность перемещений относится к одной плоскости, при этом на характер перемещений существенно влияет трение сыпучего о прозрачную стенку.



Горизонтальные давления на стенке модели силоса [10]

Способ наблюдения за истечением с помощью регистрации выхода из выпускного отверстия "марок", заранее уложенных в сыпучей среде при загрузке, требует особо тщательного анализа, причем последний обладает неточностями.

Способ наблюдения через прозрачные стены моделей [10] или смотровые окна в стенах силосов дает ограниченную информацию о движении только на контакте сыпучего со стенкой.

Н.Г.Дубынин и Б.Н.Щекотихин [14] предложили метод "замораживания", заключающийся в том, что при загрузке в модель сыпучее разделяется окрашенными прослойками. После частичной выгрузки модель вместе с сыпучим заливается расплавленным парафином и в таком виде охлаждается. Далее ее распиливают по нужным плоскостям и фиксируют перемещения окрашенных прослоек. Этот способ чрезвычайно трудоемок и не обладает точностью ввиду наложения дополнительных перемещений за счет усадки парафина при остывании.

Более оперативный способ наблюдения за движением сыпучего материала предложил и использовал М.М.Осипов [8]. Траектории движения фиксируются с помощью рентгеноскопии по перемещению стальных шариков диаметром 1-1,5 мм, уложенных в массиве сыпучего по диаметральной плоскости. Наблюдается четкая картина вертикальных и горизонтальных перемещений шариков и траекторий их движения. Одним из недостатков данного способа является отсутствие доказательства равенства скоростей шариков и сыпучего при различии удельного веса их частиц в 10-12 раз.

Анализируя результаты исследований кинетики истечения сыпучего из емкости, необходимо отметить, что они позволили установить наличие зоны интенсивного движения в виде эллипсоида вращения с расположением длинной оси вертикально над центром выпускного отверстия, траектории движения частиц к выпускному отверстию в разных зонах емкости, последовательность истечения. Однако ряд вопросов, в том числе определение размеров зон, уточнение скоростей по сечениям, закономерности перехода одних форм истечения в другие нуждаются в детальном изучении и количественной оценке.

1. Тахтамышев С.Г. Давление сыпучих тел в силосах // Ученые труды ЦНИИСК за 25 лет. - М.: Стройиздат, 1952. - 229 с.

2. Молодченко Г.А., Заковоротный Ю.Г., Зарудский Г.В. Оценка погрешности датчиков давления при определении контактных напряжений // Расчет конструкций подземных сооружений. - К.: Будівельник, 1976. - С. 75-77.

3. Курочкин А.М. Давление зерна в силосах // Исследования напряженного состояния железобетонных силосных сооружений: Сб. научн. тр. Вып. 2 / Под ред. Трухлова А.М. - Саратов: СПИ, 1969. - С. 118-225.

4. Takahashi K. and Gamahara H. Dynamic Pressure of grain on silo walls // Industrial Report of the Research laboratory of the Shtnizu Construction Company. - Tokyo, April, 1963.

5. Бернштейн М.С. Форма истечения и давление зерна в силосах // Строительная промышленность. - 1945. - № 4-5. - С. 15-19.

6. Галетов А.П. О совместной работе силоса и зерновой массы // Исследования, относящиеся к расчетам силосов железобетонного зернового элеватора: Сб. статей № 1. / Под ред. Трухлова А.М. - Саратов: Приволжское книжное издательство. - 1966. - С. 256-262.

7. Курочкин А.М. Давление зерна в силосах // Исследования напряженного состоя-

ния железобетонных силосных сооружений: Сб. науч. тр. Вып. 3 / Под ред. Трухлова А.М. – Саратов: СПИ, 1971. – С. 84-188.

8. Осипов М.М. Исследования на моделях движения сыпучего в силосах // Строительная механика и расчет сооружений. – 1968. – № 2. – С. 13-14.

9. Шагивалеев К.Ф. Исследование крутлого силоса при действии локальных нагрузок // Исследования напряженного состояния железобетонных силосных сооружений: Сб. науч. тр. Вып. 3 / Под ред. Трухлова А.М. – Саратов: СПИ. – 1971. – С. 27-34.

10. Хороший И.С., Красичкова-Терновская Н.Ф. Давление сыпучего материала на различные конструкции и устройства, помещенные внутри силоса // Исследования напряженного состояния железобетонных силосных сооружений: Сб. науч. тр. Вып. 4. – Саратов: СПИ, 1975. – С. 123-128.

11. Collins R. Determining Pressures in Cylindrical Storage Structures // Transactions, American Society of Agricultural Engineering. – 1963, vol. 6. – P. 98-103.

12. Lenczner D. An Investigation into the Behaviour of Sand in a Model Silo // The Structural Engineer, 1963. – v. 41. – № 12. – P. 389-398.

13. Pieper K., Wenzel F. Druckverhältnisse in Silozellen. Berlin - München, 1964.

14. Дубынин Н.Г., Щекотихин Б.Н. Причины разрушения силосных башен и рекомендации по их предотвращению. – Новосибирск: Изд. СО АН СССР, 1965. – 24 с.

Получено 13.04.2001

УДК 621.315

В.Ф.ЖУКОВ, канд. техн. наук, **П.В.БАКУМЕНКО**

Харьковская государственная академия городского хозяйства

К ВОПРОСУ УПРОЩЕННОГО РАСЧЕТА УНИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВОБОДНОСТОЯЩИХ ОПОР

Рассматривается методика упрощенного расчета унифицированных железобетонных свободностоящих опор воздушной линии электропередачи, позволяющая достаточно просто оценить прочность стойки опоры.

При проектировании линий электропередачи (ЛЭП) используется упрощенный расчет, рекомендуемый для унифицированных железобетонных свободностоящих опор (Справочник по проектированию линий электропередачи. Под ред. М.А.Реута и С.С.Рокотяна. – М.: Энергия, 1980. Далее по тексту: Справочник).

По методике, описанной в Справочнике (с.128), определяется изгибающий момент M_n в опорном сечении для недеформированной стойки, создаваемый горизонтальными и вертикальным нагрузками. Прогобы стойки под нагрузкой для определения дополнительных изгибающих моментов от вертикальных сил находят методом последовательных приближений. При вычислении прогибов первого приближения определяют кривизну в опорном сечении для предельного изгибающего момента для данной стойки M_{np} . Очевидно, и величина прогибов будет соответствовать этому моменту. По значениям проги-