

УДК 624.9

**ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ СЫПУЧИХ
МАТЕРИАЛОВ В ЕМКОСТНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

Д.О. Банников, к.т.н, доцент

*Днепропетровский национальный университет
железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна,
г. Днепропетровск*

Разнообразные виды сыпучих материалов применяются достаточно широко как в промышленной, так и в сельскохозяйственной сферах жизнедеятельности человека. В большинстве случаев сыпучие материалы являются исходным сырьем для получения новых продуктов производства, как например, угли и руды, но могут выступать и в качестве промежуточного продукта, как например, химические концентраты, или же сами являться конечным элементом производства, как например, ряд пищевых продуктов.

Неотъемлемой операцией при работе с сыпучими материалами является их хранение. Оно, как правило, не является достаточно длительным, однако в некоторых случаях материал может накапливаться годами. Поэтому возникает необходимость в создании и использовании строительных конструкций специального типа, приспособленных для различных условий хранения сыпучих. Такие конструкции получили название емкостных, поскольку представляют собою сосуд в виде емкости, формирующий необходимый запас сыпучих материалов.

Одной из важнейших проблем на пути создания надежных и долговечных конструкций такого типа является **проблема изучения взаимодействия сыпучего материала с элементами емкостной конструкции** [1]. В первую очередь, такое взаимодействие проявляется в виде давления, оказываемого сыпучим материалом на стенки емкости в процессе его хранения. Однако, процессы загрузки и выгрузки также обуславливают возникновение некоторых специфических эффектов, часто оказывающихся более опасными.

В связи с этим проводились и продолжают проводиться многочисленные аналитические исследования и создаваться различного рода теоретические модели, описывающие качественно либо количественно, выражаясь образно, поведение сыпучего материала в замкнутых объемах. Однако, они являются настолько разнородными и приводящими к настолько сильно различающимся результатам (см., например, работы [2 - 6]), что единственной возможностью их примирить является проведение целенаправленных экспериментальных исследований.

Подобного рода исследования, в свою очередь, были начаты достаточно давно. Все они могут быть разделены на три большие группы, в зависимости от того процесса, изучению которого посвящены.

Наиболее ранними являются исследования связанные с изучением процесса выгрузки сыпучих материалов. Они позволили установить ряд

качественных и частично количественных закономерностей, присущих данному режиму. Наиболее известные результаты в этом направлении обобщены и проанализированы в работах [5] и [6].

Другая часть экспериментальных исследований касалась изучения характеристик процесса загрузки сыпучих материалов в емкостные конструкции. Результатом их явилась разработка специальных конструктивных защитных мероприятий, снижающих уровень возникающих нежелательных воздействий (в основном, ударного и динамического типа) – [2, 7].

Третья часть исследований, наиболее обширная, преследовала изучение непосредственно статического режима хранения сыпучих материалов. Работы здесь велись в двух направлениях: с одной стороны, изучалось давление, оказываемое на стенки емкостей, с другой стороны изучалась работа самих емкостей под этим давлением. Результаты первого направления, полученные как отечественными, так и зарубежными специалистами, нашли обобщение в работах [3 – 6]. Второе направление носило преимущественно характер отдельных отрывочных работ, поскольку являлось достаточно дорогостоящим – [8 - 10]. Тем не менее, были получены достаточно интересные результаты.

Как следует из **приведенного анализа имеющихся работ** по экспериментальным исследованиям сыпучих материалов в емкостных конструкциях, все они имеют одну не очень приятную особенность – изучение проводилось отдельно для каждого из режимов работы конструкции. Это не позволяет выполнить синхронизацию всех накопленных результатов по отношению не только к разнообразным сыпучим материалам, но и к особенностям работы емкостных конструкций. Так, например, одно из опаснейших явлений пикового повышения давления, зачастую ведущее к авариям емкостей, по данным отечественных [6] и зарубежных [11] специалистов имеет место на стыке режимов хранения и выгрузки сыпучего материала из конструкции. При раздельном самостоятельном анализе каждого из режимов отследить этот эффект просто не представляется возможным.

С другой стороны, ряд последних современных теоретических подходов к описанию сыпучей среды как таковой предполагает использование новых физико-механических параметров, позволяющих точнее охарактеризовать ее свойства. К их числу относятся, например, угол укладки, коэффициент плотности укладки и т.д. [4 – 6]. В проводившихся ранее экспериментальных исследованиях подобные характеристики не определялись. Это приводит к невозможности сопоставить накопленные экспериментальные данные с предлагаемыми теоретическими.

Таким образом, **возникает необходимость в постановке и проведении более совершенных экспериментальных исследований.** Они должны являться комплексными, позволяющими определить не только характеристики сыпучих материалов или параметры работы емкостей, но также и взаимосвязь между ними, причем в нескольких режимах работы конструкций одновременно.

Именно с таких позиций автором были спланированы и подготовлены собственные экспериментальные исследования. **Представление особенностей их организации и проведения является целью настоящей публикации.**

Поскольку экспериментальные исследования было решено проводить в помещении для исключения возможного неблагоприятного влияния погодных факторов (влажность, температура и пр.) на свойства материалов и точность измерений, то его габариты определили весь характер исследований. Другим ограничивающим фактором являлась стоимость проводимых работ.

В качестве основных задач планируемых экспериментальных исследований были сформулированы следующие:

1. Определение характера распределения статического давления сыпучего материала на стенки емкости в режиме его хранения.
2. Установление закономерностей напряженно-деформированного состояния емкостной конструкции в режиме статического хранения сыпучего материала.
3. Определение особенностей изменения давления сыпучего материала на стенки емкости в режиме его полной самотечной выгрузки.
4. Установление закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния емкостной конструкции в режиме ее полной самотечной разгрузки.
5. Определение характера изменения динамических свойств емкостной конструкции в режиме ее загрузки сыпучим материалом.

Указанные задачи охватывают весь цикл работы емкостной конструкции при ее эксплуатации, начиная с момента загрузки сыпучего материала, его хранения и заканчивая разгрузкой сооружения.

Для решения поставленных задач пришлось выполнить тщательный предварительный теоретический анализ и моделирование предполагаемых в эксперименте ситуаций. Это было необходимо для верного и возможно более точного выбора тех параметров, которыми должны будут характеризоваться используемые сыпучие материалы и созданные емкостные конструкции. При этом использовалось компьютерное моделирование с применением метода конечных элементов на основе проектно-вычислительного комплекса SCAD for Windows [12].

Общее количество отбираемых таким образом параметров превысило 20. В их число вошли как конструктивные размеры и форма емкости (материал, толщина стенки, размеры впускного и выпускного отверстий, количество и вид ступеней, высота и форма каждой ступени и т.д.), так и физико-механические характеристики сыпучего материала (размер и форма зерна, плотность, удельный вес и т.д.). Основная сложность при установлении возможных диапазонов изменения каждого из параметров заключалась в необходимости правильно воспроизвести те эффекты, которые были необходимы для проведения измерений – соответствие размеров емкости фракционному составу сыпучего материала, возможность полной самотечной выгрузки материала, проведение измерений без разрушения конструкций для возможности их многократного повторения, необходимость

получения результатов на возможно большей комбинации изменяемых параметров.

Принимая во внимание существенную корреляцию между свойствами сыпучего материала и геометрическими параметрами конструкции разработка экспериментальной установки была начата с подбора сыпучих материалов. В качестве основного требования к ним предъявлялось требование о полном отсутствии сцепления между зернами материала. Это позволяет максимально приблизить испытываемый материал к используемым в теоретических моделях идеальным сыпучим материалам. Необходимым практическим условием реализации этого требования являлась очень близкая к нулю (по возможности, нулевая) влажность сыпучего материала.

Вопреки сложившейся традиции форму зерен сыпучего материала было решено принять произвольной. Ее учет позволяют выполнить современные теоретические модели, правда, в несколько косвенном виде [4 - 6]. Такое допущение сразу же расширило круг тех материалов которые возможно было использовать в эксперименте. При этом отпала необходимость в работе с искусственными материалами, как например, стальная дробь (любимый материал экспериментаторов прошлого века), а появилась возможность использовать реальные сыпучие материалы, что повышает практическую ценность исследований.

В отношении фракционного состава сыпучего материала требования также были снижены до возможности вариации размеров его зерен в определенном диапазоне, вопреки стремлению в прошлом использовать материалы со строго одинаковыми зёрнами. Однако, используемые диапазоны уже не могли быть выбраны произвольно, а должны были быть взаимоувязаны с предполагаемыми размерами конструкции и существующим на производстве стандартным гранулометрическим рядом.

В конечном счете, было принято три возможных диапазона – до 5 мм, что соответствовало понятию мелкозернистого материала в современных теоретических моделях; 5 – 10 мм, что соответствовало понятию крупнозернистого материала в современных теоретических моделях; 10 – 20 мм, что также соответствовало понятию крупнозернистого материала в современных теоретических моделях. Необходимость использования двух видов крупнозернистых материалов была связана с желанием автора проверить взаимосвязь между размером зерна и скоростью истечения материала из емкости, точнее отсутствие этой взаимосвязи, как указывают имеющиеся теоретические разработки [5]. К тому же использование трех различных видов сыпучих материалов оказывается более предпочтительным, чем одного или двух.

После перебора нескольких возможных вариантов (были отброшены ряд материалов с чрезмерно низким удельным весом, как например, гранулированный шлак или керамзит) были отобраны три материала – песок с крупностью зерен 0,25 – 2 мм, мраморная крошка с крупностью зерен 5 – 10 мм и щебень с крупностью зерен 10 – 20 мм. Все материалы были предварительно высушены и очищены от мусора и грязи. Песок дополнительно просеивался.

Остальные физико-механические характеристики сыпучих материалов (углы внешнего и внутреннего трения, угол укладки и т.п.) не имели определяющего влияния на характер построения экспериментальных исследований с тем, чтобы закладывая полученные значения в различные теоретические модели, иметь возможность сопоставить их результаты с полученными экспериментальными данными.

После выбора сыпучих материалов возможным стало определиться с размерами и формой экспериментальной установки. Она состояла из двух частей. Основная часть являлась, собственно, исследуемой емкостной конструкцией, которая устанавливалась на нижнюю опорную часть. Последняя выполняла функцию несущей конструкции, обеспечивающей требуемую высоту расположения емкостной конструкции над полом, необходимую жесткость и неизменяемость опор, а также возможность прикрепления измерительных приборов.

Конструктивно опорная часть была выполнена в виде пространственной рамной конструкции из трубы $\varnothing 50 \times 50 \times 1,5$ мм и имела диагональные распорки в двух вертикальных плоскостях. Суммарная вертикальная допустимая нагрузка на опорную конструкцию составила около 25 т.

В качестве экспериментальной конструкции была принята двухступенчатая симметричная емкость пирамидально-призматического типа с плоскими стенками. В качестве обоснования такого решения были положены следующие соображения. Емкости двухступенчатого пирамидально-призматического типа являются одними из наиболее распространенных типов емкостей, широко применяемыми в практике. Симметрия конструкции была необходима для создания более рафинированных условий в ходе эксперимента, с одной стороны, и для возможности дублирования расположения измерительных приборов на соседних стенках, с другой стороны. Плоская форма стенок в противовес, например, круглой форме была принята с целью повышения точности изготовления конструкции и возможности применения тензодатчиков для измерения деформаций.

Исходя из возможностей расположения конструкции в испытательном помещении, а также обеспечения приемлемого объема загружаемого в нее материала (загрузка выполнялась вручную, что требовало определенных затрат времени) окончательно были приняты следующие конструктивные размеры емкости, представленные на рис. 1. При этом специально рассчитывались размеры выпускного отверстия, так чтобы не происходило сводообразования сыпучих материалов при выгрузке, но удалось бы попасть в зону пульсирующего истечения, предсказываемую рядом теоретических работ [4 – 6]. Подкрепляющие ребра жесткости было решено не использовать для упрощения условий эксперимента, с одной стороны, и принимая во внимание достаточную изученность их работы в ходе ряда иных экспериментов, с другой стороны [8, 9].

В качестве варьируемых конструктивных параметров были приняты толщина стенки емкости (t) и угол наклона ее нижней воронкообразной части

к горизонтали (α). Именно они являются определяющими с точки зрения поведения сыпучего материала в емкости. Поскольку изготовить и испытать 4 различные конструкции оказалось экономически и технологически сложным, то было изготовлено 2 емкости. Для первой были приняты следующие параметры – $t = 4$ мм, $\alpha = 55^\circ$ (после обмеров $54,4^\circ$), для второй – $t = 2$ мм, $\alpha = 45^\circ$ (после обмеров $44,2^\circ$). Толщина стенки емкости назначалась из соображений работы ее элементов в геометрически линейной области, а угол наклона воронки – из соображений полного самотечного опорожнения емкостей.

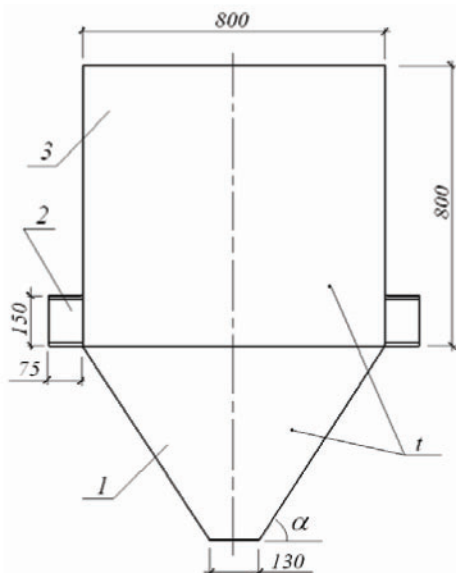


Рис. 1. Конструкция экспериментальной емкости:

- 1 – нижняя пирамидальная часть, 2 – верхняя призматическая часть,
3 – двутавровый опорный выступ (из листа $t = 6$ мм).

Материалом для изготовления емкостей была принята сталь, из которой во многих случаях изготавливаются в практике такие емкостные сооружения.

Для решения поставленных в эксперименте задач измерялись деформации и прогибы стенок конструкций. Для этого обе емкости были оснащены измерительными приборами – тензорезисторами с базой 5 мм и прогибомерами часового типа (мессурами) с точностью измерений 0,1 мм.

Тензорезисторы наклеивались по схеме стандартной розетки, поскольку напряженное состояние элементов стенки конструкции является двухосным. Всего на конструкции было расположено 10 тензорозеток в местах предполагаемой концентрации напряжений согласно предварительно выполненному компьютерному конечно-элементному моделированию (8 розеток на одной стороне емкости и 2 дублирующие розетки на соседней стороне). Схема расположения розеток приведена на рис. 2, а.

Тензодатчики через кабельные разъемы присоединялись к измерительному комплексу ТМК-1, который в свою очередь подключался непосредственно к компьютеру, позволяя достаточно быстро и оперативно проводить экспресс-обработку, а в дальнейшем и полную обработку измеренных данных. Внешний вид измерительного комплекса представлен на фото рис. 3.

Прогибомеры устанавливались в двух точках на одной стенке модели в местах наибольшего ожидаемого ее прогиба. Схема расположения прогибомеров приведена на рис. 2, б.

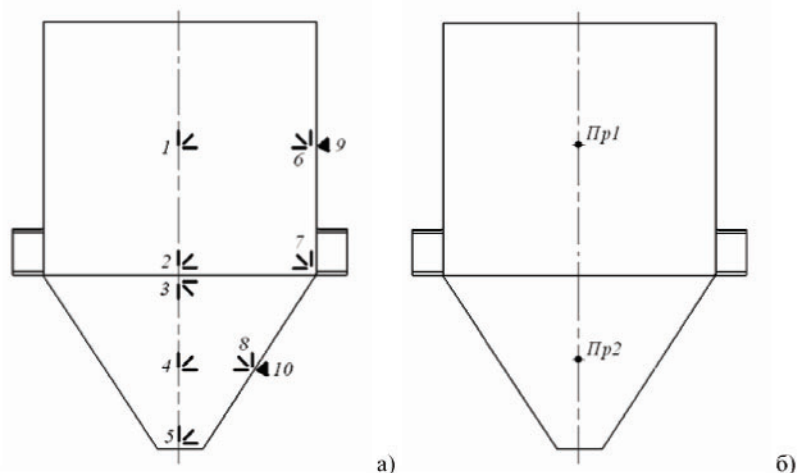


Рис. 2. Схема расположения измерительных приборов:
а) тензорезисторов; б) прогибомеров.

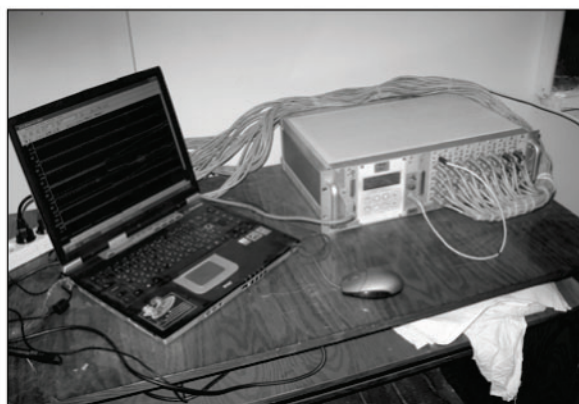


Рис. 3. Измерительный комплекс ТМК-1.

На рис. 4 и 5 приведены фотографии обеих изготовленных экспериментальных емкостей с установленными приборами измерений. Обозначение сторон было принято латинскими буквами против часовой стрелки при взгляде сверху: сторона А предназначалась для установки прогибомеров, сторона В являлась основной для наклейки тензорозеток, сторона С являлась дублирующей для наклейки тензорозеток, сторона D для измерений не использовалась (выбиралась как наиболее неточно изготовленная либо имеющая наименьшее качество внешней поверхности).

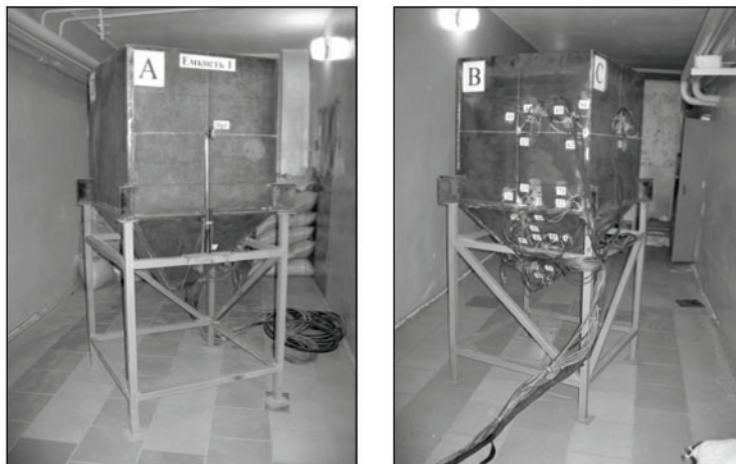


Рис. 4. Общий вид экспериментальной емкости № 1.

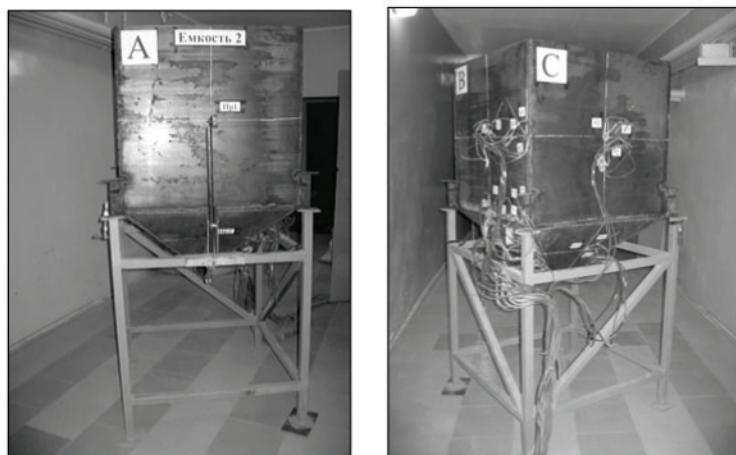


Рис. 5. Общий вид экспериментальной емкости № 2.

Заметим, также, что выполненные емкостные конструкции рассматривались автором не как масштабные модели реальных емкостей, а как небольшого размера реальные емкости. Соответственно, и их параметры, а также параметры сыпучих материалов выбирались не из условий масштабирования. Поэтому в ходе проводившихся экспериментальных исследований вопрос о подобии и привлечении математического аппарата теории подобия не ставился. По мнению автора, такой подход является вполне правомерным и способствует повышению достоверности получаемых результатов.

Следующим ключевым вопросом, связанным с непосредственным проведением экспериментальных исследований, являлся вопрос о составлении плана исследований. Его разработка велась с учетом имеющихся теоретических наработок по данному вопросу [13, 14]. Эксперимент было решено проводить, следуя терминологии работы [13] по однофакторной схеме, последовательно, но в произвольном порядке, загружая сначала емкость 1 сыпучими материалами, а затем емкость 2. Таким образом осуществлялась рандомизация измерений, позволяющая считать их при дальнейшей обработке равнозначными и независимыми.

Отдельным вопросом являлось установление необходимого количества каждого из проводившихся опытов. Согласно работе [15] для гарантированного достижения необходимой точности измерений их минимальное количество должно составлять 5 измерений, а для выхода на 5 % доверительный уровень надежности – 7 измерений. Однако, в этом, как и в большинстве других подобных экспериментальных исследований в отношении строительных конструкций, осуществить такое их количество технически сложно, экономически неоправдано и требует значительных временных и трудовых затрат. Поэтому автор пользовался достаточно распространенным эмпирическим приемом, когда количество измерений подбиралось на основе концепции, так называемого, последовательного эксперимента [13]. При этом новые измерения продолжают проводиться только до получения устойчивых результатов. Однако, в качестве минимально необходимого количества испытаний во всех случаях было принято 3 испытания.

С учетом поставленных экспериментальных задач была принята следующая поэтапная схема проведения исследований.

Этап I. Подготовительный.

Выполняется сборка и установка экспериментальной модели.

Проводится наклейка тензодатчиков и установка прогибомеров.

Выполняется тарировка приборов.

Определяются характеристики материалов емкостей (стали).

Определяются характеристики выбранных сыпучих материалов.

Этап II. Работа с емкостью № 1.

Последовательное нагружение всеми тремя сыпучими материалами, для каждого из которых проводятся три серии испытаний.

Серия 1. Статические испытания.

Проводится 3 цикла загрузки емкости. Показания измерительных приборов снимаются при уровнях загрузки 25 %, 50 %, 75 % и 100 % объема емкости.

Серия 2. Динамическая запись процесса разгрузки.

Проводится 3 записи процесса разгрузки емкости от 100 % загрузки до полного опорожнения.

Серия 3А. Запись динамических параметров пустой емкости.

Проводится 3 записи динамических параметров.

Серия 3В. Запись динамических параметров загруженной емкости.

Проводится 3 записи динамических параметров. Показания измерительных приборов снимаются при уровнях загрузки 25 %, 50 %, 75 % и 100 %.

Этап III. Работа с емкостью № 2.

Последовательное нагружение всеми тремя сыпучими материалами, для каждого из которых проводятся три серии испытаний.

Серия 1. Статические испытания.

Проводится 3 цикла загрузки емкости. Показания измерительных приборов снимаются при уровнях загрузки 25 %, 50 %, 75 % и 100 % объема емкости.

Серия 2. Динамическая запись процесса разгрузки.

Проводится 3 записи процесса разгрузки емкости от 100 % загрузки до полного опорожнения.

Серия 3А. Запись динамических параметров пустой емкости.

Проводится 3 записи динамических параметров.

Серия 3В. Запись динамических параметров загруженной емкости.

Проводится 3 записи динамических параметров. Показания измерительных приборов снимаются при уровнях загрузки 25 %, 50 %, 75 % и 100 %.

Заметим, что кажется возможным совместить серию 1 и серию 3 испытаний, проводя их в ходе одних и тех же нагружений. Однако, как свидетельствуют имеющиеся теоретические данные, при динамическом воздействии даже кратковременного типа происходит уплотнение сыпучего материала. Следствием этого, как правило, является повышение его давления на стенки емкости. Если не учесть в ходе экспериментальных исследований этот факт, то результаты последовательных записей при различных уровнях загрузки емкостей окажутся несовместимыми, что сделает невозможным их дальнейшую обработку и оценку.

В заключении хотелось бы привести фотографии пробного заполнения емкостей различными сыпучими материалами, использованными в ходе проводившихся экспериментальных исследований (рис. 6). На фотографиях достаточно отчетливо видна разница в гранулометрическом составе сыпучих материалов и его соотношение с размерами емкостных конструкций.



Рис. 6. Пробная загрузка емкости сыпучими материалами:
а) песком, б) мраморной крошкой, в) щебнем.

Подытоживая все вышеизложенное относительно подготовленных экспериментальных исследований по изучению сыпучих материалов в емкостных конструкциях, автору представляется возможным констатировать следующее:

1. Спланированные исследования являются комплексными, позволяющими проанализировать воздействие сыпучих материалов на всех трех стадиях работы емкостной конструкции – загрузки, хранения и выгрузки.

2. Экспериментальные исследования проводятся в достаточно широком диапазоне изменения гранулометрического состава сыпучих материалов (0,25 – 20 мм), а также в приемлемом диапазоне изменения конструктивных свойств емкостной конструкции (принятые значения толщины стенки 2 и 4 мм, принятые значения угла наклона пирамидальной части к горизонту – 45 и 55°), охватывающих многие реальные проектные ситуации.

3. Экспериментальные исследования позволяют оценить как статическое, так и динамическое поведение сыпучих материалов.

4. Полученные в ходе исследований результаты могут быть четко привязаны к физико-механическим свойствам использованных сыпучих материалов, в том числе и к ряду достаточно новых характеристик.

Надеемся, что выполненные экспериментальные исследования окажутся полезными как с практической, так и с теоретической точек зрения.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Банников Д.О. Направления совершенствования современной концепции проектирования жестких стальных бункеров / Д.О. Банников, М.И. Казакевич // Вісник ДНУЗТ. – Дніпропетровськ: вид-во ДНУЗТ. – 2003. - Вип. 1. – С. 130-136.
2. Липницкий М.Е. Проектирование железобетонных бункеров и силосов / М.Е. Липницкий, Ж.Р. Абрамович. – Л.: Стройиздат, 1960. – 288с.
3. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. – М.: Стройиздат, 1977. – 256с.
4. Богомягких В.А. Теория и расчет бункеров для сыпучих материалов. – Ростов-на Дону: изд-во РГУ, 1974. – 149 с.
5. Гячев Л.В. Основы теории бункеров. - Новосибирск: изд-во НГУ, 1992. – 312 с.
6. Семенов В.Ф. Бункеры и хранилища зерна: Учебное пособие. – Барнаул: изд-во АлтГТУ, 1999. – 221 с.
7. Руководство по расчету и проектированию железобетонных, стальных и комбинированных бункеров / Ленпромстройпроект. – М.: Стройиздат, 1983. – 200 с.
8. Провести экспериментально-теоретические исследования прочности и жесткости стальных бункеров большой емкости: Отчет о НИР по теме № 6 931 / Центр. н.-и. проектн. ин-т строит. металлокон-ий ЦНИИПроектстальконструкция. Ленинградское отделен. – Л., 1971. – 174 с.
9. Экспериментальное исследование стенок бункеров на моделях: Отчет о НИР по теме № 9 148-51-81 (заключит.) / Госуд. проектн. ин-т строит. металлокон-ий «Днепрпроектстальконструкция». – Днепропетровск, 1982. – 413 с.

10. Ягофаров Х. Основы теории проектирования листовых металлических конструкций. Пирамидально-призматический бункер / Х. Ягофаров, Н.Н. Собакин. – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – 234 с.
11. Structural Engineering Handbook / Edited by Edwin H. Gaylord, Jr., Charles N. Gaylord, James E. Stallmeyer. - 4th ed. - McGraw-Hill, 1997. – 624 p.
12. SCAD для пользователя / Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Перельмутер А.В. и др. – К.: ВВП Компас, 2000. – 332 с.
13. Налимов В.В. Теория эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 207 с.
14. Тьюки, Джон У. Анализ результатов наблюдений: Разведочный анализ: Пер. с англ. / Под ред. В.Ф. Писаренко. – М.: мир, 1981. – 693 с.
15. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

УДК 721.011:56

МЕТОДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА СВОЙСТВ ПРОЕКТИРУЕМОГО ОБЪЕКТА

М.С. Барабаш, к.т.н., доцент,

*ГП Научно-исследовательский институт автоматизированных систем в
строительстве г. Киев.*

Для автоматизации анализа напряженно-деформируемого состояния конструкций зданий и сооружений разной степени сложности в настоящее время разработано и продолжает разрабатываться большое количество разных программных систем и комплексов. На сегодняшний день на отечественном рынке и рынке стран бывшего Советского Союза присутствует множество программных продуктов для конечно-элементного анализа конструкций. К наиболее известным разработкам на территории России, Украины, Белоруссии можно отнести ПК ЛИРА, ПК МОНОМАХ, ПК STARK, САД система «Конструктор зданий», а также наукоемкие зарубежные программные комплексы, которые уже постепенно внедряются в наши проектные организации, такие как ANSYS, COSMOS, NASTRAN и ряд других.

Каждый из этих программных комплексов имеет блочно-модульную структуру, причем каждый модуль (процедура, подсистема) направлен на решение определенного класса задач, жестко закрепленных за подсистемой.

При анализе сложных объектов проектирования часто невозможно выбрать однозначную оптимальную расчетную схему, которая адекватно описывает модель проектируемого объекта, граничные условия и другие параметры. Процесс обработки сложных расчетных схем, содержащих несколько десятков и даже сотен тысяч конечных элементов, представляет собой трудоёмкую задачу, которая требует от исследователя (инженера) внимательности и специальной подготовки. Застраховаться от случайных ошибок весьма сложно, а степень ответственности крайне высока, поскольку последствия таких ошибок непредсказуемы.