

4 Если условие (3) не выполняется, то начинают проектировать избыточные измерения. С учетом одного избыточного измерения опять вычисляется матрица весовых коэффициентов уравненных высот, по рекуррентной формуле

$$Q_{H(K)} = Q_{H(K-1)} - \frac{Q_{H(K-1)} a_{h(K)}^T a_{h(K)} Q_{H(K-1)}}{\frac{1}{P_{h(K)}} + a_{h(K)} Q_{H(K-1)} a_{h(K)}}, \quad (4)$$

где $Q_{H(K-1)}$ – матрица весовых коэффициентов, вычисленная на предыдущем $(K-1)$ -м этапе; $a_{h(K)}$ – вектор-строка коэффициентов уравнения поправок избыточного измерения; $P_{h(K)}$ – вес проектируемого избыточного измерения.

5 Проектирование избыточных измерений ведется до тех пор, пока не будет удовлетворено неравенство (3).

Согласно разработанному алгоритму была составлена программа оптимального проектирования схемы измерения превышений при наблюдениях за осадками промышленных сооружений, которая реализована на ЭВМ, и использование для проектирования схемы измерений при наблюдениях за осадкой сооружений на ряде объектов Гомельской области.

УДК 624.954

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ БУНКЕРОВ

Д. О. БАННИКОВ, М. И. КАЗАКЕВИЧ

Днепропетровский национальный университет

железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

Одним из основных видов строительных конструкций, используемых для хранения различных сыпучих материалов в промышленности, строительстве, в сельском хозяйстве и на транспорте, являются стальные бункеры. В настоящее время они представляют собой отдельный класс строительных конструкций, имеющий свои собственные законы проектирования и эксплуатации.

По характеру работы стальные бункеры принято разделять на гибкие и жесткие. Первые практически не изменяют свою форму в процессе загрузки-выгрузки в них сыпучего материала, вторые – могут существенно менять очертания. Работа как гибких, так и жестких стальных бункеров подробно исследовалась довольно большим количеством отечественных и зарубежных ученых, среди которых встречаются и достаточно известные имена – Р. Хиггинс, С. Лурье, Ф. Мориссон, Н.Н. Аистов, Я.М. Хавин, Е.Н. Лессиг, А.П. Ваганов. Однако к настоящему времени стальные бункеры остаются одним из наименее изученных видов строительных конструкций, не имеющих стройной и законченной теории проектирования. И если в отношении гибких бункеров работы в данном направлении достаточно продвинулись, что нашло отражение, например, в трудах последних десятилетий Х. Ягофарова, то в отношении жестких стальных бункеров такие попытки пока не увенчались успехом: все предложенные на сегодняшний день теории, описывающие работу таких бункеров, являются в значительной степени приближенными, плохо подтверждаются экспериментальными данными, а то и вовсе противоречат им.

По мнению авторов, такая ситуация связана с тем, что процесс проектирования стальных бункеров затрагивает исключительно сложные вопросы, которые на сегодняшнем этапе пока еще не имеют приемлемого теоретического решения. Стремясь создать простой, понятный инженерам метод расчета и конструирования жестких стальных бункеров, многие исследователи допускают слишком серьезное упрощение ситуации, не вдаваясь в детальное изучение рассматриваемых вопросов. Поэтому в каждом из предлагаемых подходов оказывается довольно велика доля упрощений и предположений, встречается даже и откровенное догматическое назначение недостающих по смыслу положений. В результате создается завуалированное, искаженное представление о работе

сооружения, выливающееся в создание неоправданных прочностных резервов, иногда довольно значительных, либо ведущее к возникновению недопустимо больших напряжений и деформаций в конструкции, вплоть до разрушающих. Практика изобилует случаями отказов и аварий данного типа бункеров, а проводимые обследования фиксируют техническое состояние многих из них, близкое к аварийному.

Анализируя накопленные на сегодняшнем этапе данные, авторам представляется возможным выделить пять основных проблем, стоящих на пути создания надежных и долговечных жестких стальных бункеров. Во-первых, эта проблема классификации бункеров. Она заключается, с одной стороны, в отсутствии в настоящее время четкого набора основных конструктивных форм бункеров с указанием эффективной сферы их применения и, с другой стороны, в отсутствии четкой границы между бункером и родственным к нему классом конструкций – силосом. Хотя данная проблема, на первый взгляд, и не оказывает непосредственного влияния на процесс дальнейшего проектирования конструкции, но при детальном анализе выясняется, что в зависимости от выбранной конструктивной формы применяются совершенно различные методы расчета, основанные, подчас, на взаимно противоречивых положениях.

Вторая проблема связана с геометрической стороной и заключается в отсутствии каких-либо обоснованных рекомендаций по поводу назначения размеров бункера. Имеющиеся отрывочные исследования данного вопроса свидетельствуют о том, что даже среди применяемых конструктивных форм можно выделить наиболее рациональные с точки зрения минимума поверхности бункера или соотношения жесткостей его отдельных частей. Однако целостное изложение данного вопроса отсутствует.

Третья проблема связана с определением нагрузок. При расчете многих строительных конструкций она сведена к минимуму. По отношению же к бункерам она упирается в известную неопределенность задачи нахождения распределения давления сыпучего материала на стенку в замкнутом сосуде переменного объема. Свою долю неопределенности вносит и поведение сыпучего при его истечении из такого сосуда. Кроме этого в настоящее время недостаточно исследован сам спектр возможных воздействий загружаемого материала на конструкцию: неясно, например, какое влияние на распределение давления оказывает сегрегация сыпучего, его деградация и консолидация. Отдельной задачей является описание динамического поведения бункера. В свою очередь, из-за геометрически нелинейной работы конструкции возникает проблема совместного учета воздействий даже традиционного плана.

Все предыдущие проблемы являются в некотором смысле только прелюдией к четвертой проблеме – проблеме теоретического описания работы конструкции. Бункер не относится к разряду протяженных конструкций, в которых можно выделить характерное поперечное сечение, и, как уже отмечалось, соотношение жесткостей элементов бункера требует учета геометрической нелинейности его работы. Поэтому попытка разделения конструкции на отдельные простые элементы с последующим расчетом каждого из них по несложным известным расчетным схемам только усугубляет ситуацию. Принимая во внимание имеющую место неопределенность воздействий на конструкцию, на наш взгляд, довольно сложно требовать совпадения результатов аналитических расчетов и натурных экспериментов.

И последняя, пятая, проблема, связана с недостаточной изученностью особенностей эксплуатации стальных бункеров. Наиболее важными в этой связи является установление реальных режимов процесса загрузки – выгрузки бункера для возможности анализа усталостного поведения сооружения, а также выявление особенностей коррозионного износа стали под влиянием химически агрессивных сыпучих материалов и технологических температурных воздействий.

Конечно, все перечисленные выше проблемы не являются изолированными, они теснейшим образом взаимосвязаны и взаимозависимы. Распутывание этого клубка должно быть проведено не на основе решения отдельных частных проблем расчета и конструирования бункеров с копированием и заимствованием решений из соседних областей теории строительных конструкций, а на основе детального и всестороннего изучения всех специфических особенностей бункера и дальнейшем учете всего перечисленного выше набора вопросов и задач при их обобщении и систематизации. Только такой подход, по мнению авторов, позволит создать единую целостную теорию формообразования жестких стальных бункеров.

Авторы настоящего доклада в течение ряда лет занимаются разработкой затронутой тематики, и полученные ими результаты подтверждают правильность выбранной концепции работы. Надеемся, что разработка подобной теории формообразования бункеров позволила бы получить не только серьезный экономический эффект, но и дала бы возможность создавать более безопасные сооружения.

УДК 693.554

ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СЦЕПЛЕНИЕ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ

Г. Н. БЕЛОУСОВА, Ю. Д. ЗОЛОТУХИН

Белорусский государственный университет транспорта

Железобетон, несмотря на свою сравнительно короткую историю (немногим более 100 лет), получил исключительно широкое применение во всех отраслях строительства. Он представляет собой сочетание материалов – бетона и стальной арматуры. Для его приготовления используются сравнительно дешевые местные материалы (песок, щебень, гравий), составляющие до 70-80 % массы железобетона.

Бетон, хорошо сопротивляющийся сжатию, имеет сравнительно небольшую прочность на растяжение. Поэтому растянутую зону бетонных элементов конструкции усиливают (армируют) стальными стержнями, хорошо работающими на растяжение. Элементы, работающие на сжатие, также армируются, поскольку сжатым стальным стержням, находящимся в бетоне, потеря устойчивости практически не грозит, и они существенно повышают прочность сжатого бетона.

Свойства железобетона определяются не только свойствами бетона и арматуры, но и совместной их работой. Сцепление арматуры с бетоном является одним из фундаментальных свойств железобетона, которое обеспечивает его существование как строительного материала. Сцепление обеспечивается: склеиванием цементного геля с арматурой; трением, вызванным давлением от усадки бетона; зацеплением за бетон выступов и неровностей на поверхности арматуры. Выявление влияния каждого из этих факторов затруднительно и не имеет практического значения, так как они действуют совместно. Однако наибольшую роль в обеспечении сцепления играет зацепление за бетон выступов и неровностей на поверхности арматуры. Прочность сцепления возрастает с повышением класса бетона, уменьшением водоцементного отношения, а также с увеличением возраста бетона. Исследования показали, что распределение напряжений сцепления арматуры с бетоном по длине заделки стержня неравномерно; наибольшее напряжение сцепления $\tau_{c \max}$ не зависит от длины анкеровки стержня l_{an} . Среднее напряжение сцепления определяется как частное от деления усилия в стержне N на площадь заделки

$$\tau_c = N / (\pi d l_{an}),$$

где d – диаметр арматурного стержня.

Для обычных бетонов и гладкой арматуры $\tau_c = 2,5 \dots 4$ МПа, для арматуры периодического профиля $\tau_c \approx 7$ МПа. С увеличением прочности бетона среднее напряжение сцепления возрастает.

Для решения задачи по защите арматуры от коррозии на кафедре "Строительные конструкции, основания и фундаменты" БелГУТа выполнено детальное обследование зданий и мониторинг коррозионных процессов арматуры при незаконсервированном строительстве, также проводились исследования по определению коррозионной стойкости арматурных стержней с различными видами защитных покрытий.

Для проведения эксперимента были отобраны образцы арматуры длиной 300 мм, разделены на три части и замаркированы. Первая часть образцов была очищена вручную (металлической щеткой), вторая – сухой пескоструйной обработкой, третья – преобразователем ржавчины. Затем были изготовлены призмы из мелкозернистого бетона (состав по весу 1:3; W/C=0,46; цемент марки М400) сечением 100x100x150 мм. В призмы были забетонированы арматурные стержни (арматура АIII диаметром 10 мм), часть которых была покрыта ржавчиной, а другая часть – различными защитными составами. Испытания проводились при помощи машины УИМ-50 и самоцентрирующиеся приспособления, состоящего из четырех стоек, закрепленных между двумя пластинами, в которых сделаны отверстия. Скорость нагружения до предела текучести 10 МПа/с. Для оценки влия-