Правильное проектирование как решение вопроса долговечности эксплуатации промышленных полов

А.М. ГОРБ, член Международного союза экспертов по строительным материалам, системам и конструкциям «RILEM», Американского института бетона «ACI», Британской ассоциации бетона (CS)
И.А. ВОЙЛОКОВ, доцент кафедры ТОЭС Санкт-Петербургского государственного политехнического Университета

Бетон является основным материалом для производства промышленных полов как в нашей стране, так и во всем мире. Кроме качества бетона, важно правильное проектирование всей конструкции пола, благодаря которому возможно обеспечить его качественную эксплуатацию в течение всего срока службы.

В вопросах проектирования, изготовления и дальнейшей эксплуатации промышленных полов важное значение имеет обеспечение долговечности всей конструкции в целом. Именно на этапе проектирования мы закладываем основные параметры всей конструкции. Это касается не только обеспечения нагрузок, но также и правильной работы всей плиты, ее способности правильно компенсировать возникающие нагрузки, при этом не разрушаясь и не покрываясь трещинами. Именно микро- и макротрещины становятся проводниками для проникновения различного рода сред в тело бетона и вызывают коррозию, что негативно влияет на долговечность всей железобетонной плиты в целом. За счет того или иного проектного решения можно получить и экономию металла, и экономию бетона, что, в конечном счете, скажется как на экономических, так и на эксплуатационных показателях всей плиты в целом. Здесь и применение различного рода фибр, и замена арматуры железобетонных конструкций на арматуру класса А500 С.

Именно на стадии проектирования закладывается так называемый **отложенный экономический эффект**. Он становится явным по прошествии периода времени, в течение которого железобетонная конструкция работала без повреждений (трещин) и последующего ремонта. Данный показатель напрямую связан с долговечностью конструкций.

Использование новых видов армирования и новых видов арматур в строительстве требует изучения их коррозийной стойкости при воздействии агрессивных сред и использовании нетрадиционных строительных материалов. На практике также можно использовать и традиционную стержневую арматуру периодического профиля, подходя к решению этой задачи инновационно, т.е. использовать комбинированные варианты, например стержневая арматура + фибра. В настоящее время мы вынуждены ориентироваться на результаты наших западных коллег. Хотя немаловажно и полномасштабное изучение российского опыта.

Повышение надежности и коррозийной стойкости железобетонных конструкций может быть решено правильным проектным решением, а также созданием коррозиестойких строительных материалов нового поколения с использованием экономичных заводских технологий и новых видов арматурных сталей высокой надежности, позволяющих обеспечить экономию металла на 20–40%.

Основные мероприятия, призванные в значительной степени повысить долговечность бетонных конструкций

1. Всестороннее исследование стойкости арматуры, бетона, фибры, стальных связей и железобетона на новых вяжущих, заполнителей с использованием отходов производства. Разработка мер обеспечения долговечности железобетонных конструкций при одновременном воздействии агрессивной среды и нагрузки.

2. Проектирование и разработка бетонных и железобетонных конструкций высокой долговечности, коррозийной стойкости и стойкости к биологической коррозии, изготавливаемых по экономичным технологиям. При этом необходимо уделять внимание изучению:

- внутренней коррозии бетона при использовании местных сырьевых материалов с повышенным содержанием вредных примесей;
- разрушения новых видов арматуры при одновременном воздействии на железобетонные конструкции силовых нагрузок различного характера и агрессивной среды;
- оптимальных технологических параметров изготовления новых видов высокопрочных арматурных сталей, обеспечивающих повышение стойкости против коррозионного растрескивания, а также разработке защитных покрытий арматуры и технологии их нанесения;
- оптимальных технологических параметров и характеристик периодического профиля, позволяющих повысить надежность служебных свойств арматуры и расширить области применения эффективных видов стали;
- новых видов защитных материалов с использованием отечественного сырья, критериев и методов оценки их долговечности;
- химических способов удаления продуктов коррозии с поверхности арматуры и коррозиестойких составов для ремонта эксплуатируемых конструкций;
- реологии бетонов, применяемых в тех или иных видах конструкций;

3. Разработка расчетных методов прогноза долговечности подземных и надземных железобетонных конструкций, работающих при воздействии жидких и газовоздушных агрессивных сред.

4. Разработка и внедрение методов контроля параметров качества и долговечности строительной продукции на производстве и их сертификационная аттестация.

Результатами детальных исследований проблемы долговечности будут являться:

- создание новых коррозиестойких сборных и монолитных конструкций с гарантией расчетного срока службы основных несущих конструкций и увеличенным сроком межремонтного периода;
- развитие теории коррозии бетона и железобетона, совершенствование норм проектирования конструкций повышенной долговечности и коррозионной стойкости с применением расчетных методов прогноза их долговечности.

Долговечности железобетонных зданий и сооружений, плит пола без больших затрат можно достичь, если поставить проблему долговечности как основную при проектировании, расчете, изготовлении и эксплуатации строительных конструкций. Вышесказанное позволит уменьшить затраты при строительстве, а необоснованные затраты на коррозионные потери направить на развитие строительной науки.

Перейдем непосредственно к вопросам проектирования и расчету плиты пола.

Для выполнения расчёта плиты пола, являющейся бесконечной гибкой плитой на

упругом основании, следует соблюдать требования действующих норм и правил. Основным нормативным документом для проектирования полов в настоящее время является СНиП 2.03.13-88 «Полы», в котором определены основные правила проектирования. Для практических целей имеются различные приложения к этому СНиПу, в том числе для расчёта бетонных плит полов существует действующий нормативный документ: «Полы. Технические требования и правила проектирования, устройства, приёмки, эксплуатации и ремонта» (в развитие СНиП 2.03.13-88 «Полы» и СНиП 3.04.01-87 «Изоляционные и отделочные покрытия», разработанного ЦНИИПромзданий). Для расчёта фибробетонных конструкций используются указания свода правил СП 52-104-2006 «Сталефибробетонные конструкции». Кроме этого, для учёта некоторых дополнительных нюансов применяются требования СНиП 2.05.08-85 «Аэродромы», ACI 360R-06 «Проектирование плит на грунтовом основании» (комитет № 360 Американского института бетона) и TR34 «Бетонные промышленные полы. Руководство по проектированию и устройству» (Британского Общества производителей бетонных конструкций). Эти документы согласуются с отечественными нормами в части выполнения расчётов конструкций полов и дают сходные результаты.

В соответствии с вышеуказанными документами для расчета плит полов по грунту используется только модель местных упругих деформаций (т.н. винклеровская одноконстатная модель).

В последнее время появилось множество компьютерных программ по расчёту фундаментных плит, часто необоснованно, без соответствующей корректировки, применяемых для расчёта плит полов. Не обсуждая качество получаемых результатов с использованием этих программ, отметим, что каждая из них приемлема для решения определённого круга задач, но для проектировщиков промышленных полов всё-таки на сегодняшний день основным документом является СНиП 2.03.13-88 «Полы» со всеми приложениями.

При составлении технических заданий на проектирование полов содержится указание на использование в расчётах значения т.н. «нормативной эквивалентной нормативно-распределённой нагрузки», что является недостаточным без указания значений сосредоточенных нагрузок.

Так, согласно требованиям п. 2.3 «Полы. Технические требования и правила проектирования, устройства, приёмки, эксплуатации и ремонта», «...собственный вес пола, а так же нагрузки, равномерно распределённые по площади, при расчёте не учитываются...». То есть практически любое заданное значение этой нагрузки (5, 10 или 20 тн/м^2) ни коим образом не влияет на конструкцию плиты пола, и его толщина принимается конструктивно, например 120 мм из неармированного бетона класса В22,5. На самом деле, равномерно-распределённой нагрузкой в 5 т/м^2 может быть и 5-тонный погрузчик, габариты осей колёс которого составляют приблизительно 1х1 м, и складированные в 5-ярусные штабели паллеты размером 0,8х1,2 м весом 1 т каждая, и, например, песок, насыпанный по всей площади пола толщиной примерно 3,2 м, и рулоны бумаги при четырехуровневом хранении. В этих случаях равномерно распределённая нагрузка одна и та же, но конструкция пола будет разная.

Наиболее наглядно неприменимость задания в качестве основного параметра для расчёта плит полов равномерно распределённой нагрузки можно проиллюстрировать на примере проектирования многоуровнего стеллажного хранения грузов. Стеллажи могут быть при одинаковой ярусности набивными, консольными, гравитационными, мезонинными и фронтальными, имея при этом различные расстояния между опорными стойками в плане. Согласно СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия», при составлении задания на проектирование при действии на полы нагрузок от оборудования и складируемых материалов необходимо учитывать технологические решения, в которых должны быть приведены места расположения, нагрузки и габариты опор оборудования.

Замена фактически действующих сосредоточенных нагрузок на эквивалентные равномерно-распределённые должна определяться расчётом и дифференцированно. Подобная замена может быть осуществлена только при проектировании конструкций междуэтажных перекрытий. Для полов, опирающихся на грунт, такая замена не допустима.

В СНиПе 2.03.13-88 «Полы» и его приложениях прописаны такие же требования при составлении технических заданий. Так, в п. 2.3. «Полы. Технические требования и правила проектирования, устройства, приёмки, эксплуатации и ремонта» указаны необходимые параметры для задаваемых нагрузок: «На схеме нагрузок в плане должна быть указана их наибольшая величина, размеры и форма следов опирания на пол и наименьшие расстояния между этими следами...».

Только назначение этих исходных данных служит основанием для полноценного проектирования плиты пола по грунту. Значение «равномерно-распределённой нагрузки» ни в одном нормативном документе даже не упоминается.

Это основано на том простом утверждении, что при любых моделях основания и способах расчёта решаются только две основные задачи с точки зрения теории упругости:

- задача № 1 «О расчёте круглой плиты неограниченных размеров при нагрузке, распределённой по малой площади» – для нагрузок, удалённых от краёв.
- задача № 2 «О расчете прямоугольной плиты при нагрузке, близкой к сосредоточенной» – для краевых и угловых участков плиты.

Задача о равномерной нагрузке, распределённой по всей площади плиты, решается только для плит конечного размера и жёсткости, что к проектированию полов не имеет никакого отношения.

Таким образом, задание и даже упоминание в техническом задании значения эквивалентной равномерно-распределённой нагрузки является некорректным с точки зрения основания для проектирования.

Но возникает резонный вопрос: для чего же при проектировании складских комплексов задаётся параметр «допустимая нагрузка до 5 (6) т/м^2»?

При массовом строительстве складских комплексов в последние годы возникла необходимость каким-то образом классифицировать склады по параметрам, отражающим их инвестиционную привлекательность, а также для удобства общения девелоперов, арендаторов, покупателей и строителей складов. Так появился термин «Склад класса А» (В, С и т.п.).

В части допустимых нагрузок на полы определение склада класса «А» предполагает значение равномерно-распределённой нагрузки, как правило, 5 или 6 т/м^2.

Специфика рынка такова, что каждый из участников инвестиционного процесса предполагает, что нагрузка, например, 5 т/м^2 означает возможность 5-ярусного хранения грузов на европаллетах полной массой до 1 т на стандартных сборно-разборных стеллажах. Как правило, предполагается использование фронтальных стеллажей с общепринятыми расстояниями между вертикальными стойками 1,05•2,75 м.

Значение равномерно-распределённой нагрузки также важно для разработчиков проекта фундаментов под несущий каркас здания, т.к. им необходимо учитывать временные нагрузки при определении параметров фундаментной конструкции с учётом дополнительного давления, передаваемого через полы.

Исходя из вышеизложенного, некое «виртуальное» значение «равномерно-распреде-

лённой нагрузки» ни коим образом не определяет конструкцию плиты пола. Для проектировщиков полов информация, предоставленная им, кроме необходимой, является лишней и вызывающей споры и недопонимание между сторонами впоследствии.

С другой стороны, все участники инвестиционного процесса должны использовать единый язык общения и проектировщики полов должны каким-то образом учитывать, с одной стороны, требования действующих нормативных документов, с другой – пожелания заказчиков и инвесторов. Поэтому необходимо было выработать простой механизм перехода от значения заявленной равномерно-распределённой нагрузки к сосредоточенным, приемлемым для последующих расчётов.

Рассмотрим повсеместно принятый алгоритм определения нагрузок и воздействий, действующих на полы. Зададимся следующими исходными данными.

Пусть нам известно следующее:

- высота склада в свету (т.е. расстояние от оси поверхности пола до нижней поверхности балки покрытия) – 12 м.
- вес одной единицы груза (паллеты) – 1 т.

Для предварительных расчётов плиты пола этих данных вполне достаточно. Определим количество ярусов хранения. При стандартной упаковке высота паллеты равна 1,6–1,8 м. При добавлении зазоров и высоты балок рамы стеллажа получаем примерную высоту первого яруса, равную 2 м. Исходя из этого, рассчитываем максимально возможное количество ярусов хранения:

12 м : 2 м = 6 ярусов хранения.

Предполагается, что хранение будет осуществляться на стандартных фронтальных стеллажах с размерами между осями стоек (в плане) 2,75x1,05 м, что допускает хранение до трех европаллет размером 0,8x1,2 м в каждой стеллажной ячейке.

Для корректного сбора нагрузок на опору стойки стеллажа необходимо предположение напольного хранения грузов первого яруса. Размещение грузов нижнего яруса на балке, передающей дополнительную нагрузку на стойки стеллажа, однозначно неприемлемо по причине дополнительных расходов на увеличение общего количества балок и увеличение (до 20%) нагрузок на стойки стеллажа. Поэтому в большинстве случаев используется напольное хранение грузов первого яруса. В случае использования узкопроходной техники, перемещающейся по направляющим упорам (в случае безиндукционного управления погрузчиком), применяется установка опорных балок (прямоугольных стальных профилей размером более высоты направляющего упора), параллельных балкам основной конструкции стеллажа с креплением к полу для укладки паллет нижнего яруса. В результате на стойки стеллажа оказывается косвенное, не очень большое влияние, поскольку нагрузка распределена по относительно большой площади.

Нагрузки на полы при использовании стандартных фронтальных стеллажей

Параметр нагрузки	Количество ярусов хранения							
	всего	на раме	всего	на раме	всего	на раме	всего	на раме
	5	5	5	4	6	6	6	5
Средний вес паллеты 1 т								
Сосредоточенная нагрузка, т	7,5		6		9		7,5	
Равномерно-распределенная нагрузка, т/м^2	5,195		5,195		6,23		6,23	
Средний вес паллеты 0,8 т								
Сосредоточенная нагрузка, т	7,2		6		8,4		7,2	
Равномерно-распределенная нагрузка, т/м^2	5		5		5,82		5,82	
Средний вес паллеты 0,9 т								
Сосредоточенная нагрузка, т	8,1		6,75		9,45		8,1	
Равномерно-распределенная нагрузка, т/м^2	5,61		5,61		6,55		6,55	

На основании вышеизложенных исходных данных получаем формулу для расчёта нагрузки на среднюю одиночную стойку стеллажа с учётом напольного хранения грузов первого яруса:

$$P = (P_{пал.} \cdot M \cdot N1) : 2, \quad (1)$$

где P – рассчитываемая нагрузка на одиночную стойку стеллажа, т;

$P_{пал.}$ – усреднённый вес паллеты, т,

M – количество паллет на одном ярусе хранения (в случае применения стандартных стеллажей размером в плане 1,05•2,75м – 3 паллеты),

N – общее количество ярусов хранения,

N1 – количество ярусов хранения на раме стеллажа.

Подставляя в формулу (1) предварительно заданные исходные данные, получаем:

$P = (1 т \cdot 3 \cdot 5):2 = 7,5$ т.

Таким образом, нагрузка на одиночную стойку стеллажа при 6-ярусном хранении с напольным хранением грузов первого яруса составляет 7,5 т.

В случае хранения всех паллет на раме стеллажа (без напольного хранения) получаем:

$$P = (P_{пал.} \cdot M \cdot N) : 2, \quad (2)$$

т.е. $P = (1 т \cdot 3 \cdot 6):2 = 9$ т.

Для приведения данного сочетания нагрузок к эквивалентной равномерно-распределённой необходимо произвести деление нагрузки, действующей в пределах нагруженной стеллажной ячейки на условно принятую грузовую площадь, определённую габаритными размерами стоек стеллажа:

$$P_{экв.} = (N \cdot M \cdot Рпал.) : S, \quad (3)$$

где S – грузовая площадь (2,75 x 1,05= = 2,8875 м^2)

Итого получаем:

$P_{экв.} = (6 \cdot 3 \cdot 1т) : 2,8875 = 6,23$ т/м^2.

В результате мы привели реально действующие нагрузки от грузов, расположенных на стеллажах, к условному значению равномерно-распределённой нагрузки.

Таким образом, при одинаковом значении равномерно-распределённой нагрузки (6,23 т/м^2) мы имеем различные величины нагрузок на стойки стеллажей (7,5 и 9 т), отличающиеся по значению почти на 20% .

Ещё одним фактором, который необходимо учитывать, является распределение паллет различного веса по высоте стеллажа. То есть вес паллеты, на первом, напольном, ярусе, как правило, выше среднего веса паллет, хранящихся на раме стеллажа и, соответственно, взаимосвязь между равномерно-распределённой и сосредоточенной нагрузками становится более неопределённой.

Ниже из данных таблицы видно ориентировочное соотношение между различными видами нагрузок при различном весе единиц грузов (паллет) при использовании стандартных фронтальных стеллажей размером в плане 1,05•2,75 м:

В заключении хочется особенно отметить один немаловажный аспект правильного проектирования железобетонной конструкции пола. С точки зрения технологии бетона и процесса его эксплуатации особое значение при расчетах занимает условие равномерно-распределенной нагрузки. Правильно запроектированная плита сможет не только долго прослужить и правильно работать. Все процессы, связанные с ее последующим разрушением и трещинообразованием вследствие эксплуатации, должны быть пресечены условием правильного проектирования. Ведь именно трещины в теле бетона являются основными его врагами, предвестниками последующего полного разрушения конструкции. Но при этом нельзя забывать и о качестве бетона – исходного материала. Ведь железобетонная конструкция – это совокупность многих составляющих, а одна из самых главных – именно бетон.