

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ПОЛОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ НЕПОЛНОГО КОНТАКТА С ПОДСТИЛАЮЩИМ ОСНОВАНИЕМ

Многочисленные работы, посвященные вопросам теории и практики расчета плит, лежащих на упругом основании, к которым в том числе относятся полы производственных зданий, рассматривают с точки зрения теории упругости, взаимодействие тонкой (гибкой) пластины с упругой (упруго-пластичной) средой (полупространством) в предположении наличия сплошного контакта пластины с упругим полупространством и трения в слоях. При этом предполагается решение прикладной задачи теории упругости – определение напряжений и деформаций в пластине и в полупространстве при наличии внешних воздействий.

Однако, как показывает практика, в некоторых случаях является возможным отрыв (отслоение) отдельных (краевых, реже центральных) участков плиты (пластины) от подстилающего основания вследствие возникновения градиента напряжений и деформаций по вертикальному сечению плиты, а также при прогрессивном накоплении остаточных прогибов в подстилающем основании (упруго-пластичном полупространстве). При этом данные участки плиты (пола) могут (условно) рассматриваться как консольные или однопролетные балки со всеми вытекающими негативными последствиями в виде возникновения усилий, превышающих расчетные и изначально заданные величины при начальном, как правило, заданном условии сплошного контакта.

Возрастающие объемы строительства современных многофункциональных складских и терминальных комплексов предполагают использование технологии многоярусного стеллажного хранения, характеризующейся наличием сосредоточенных нагрузок на полы от опорных стоек стеллажей до 25 тонн в сочетании с интенсивным перемещением наполняемого подъемно-транспортного оборудования массой до 15 тонн на металлических колесах с эластичными ободами и малой контактной поверхностью. Это необходимо учитывать при проектировании, строительстве новых и реконструкции существующих полов во вновь возводимых и реконструируемых производственных зданиях.

Анализ технического состояния промышленных полов, ранее выполненных рядом строительных организаций, проведенный ведущей в этой области проектно-строительной компанией «Конкрит Инжиниринг», показал, что срок их службы, как правило, меньше нормативного и что они начинают разрушаться через 2–3 года после их ввода в эксплуатацию. При этом был выявлен ряд причин и факторов, снижающих

долговечность промышленных полов. Наиболее характерными из них являются недоучет грунтово-геологических и гидрогеологических условий строительной площадки; ошибки при проектировании; допущение при эксплуатации нагрузок, превышающих изначально заданные проектом величины; нарушение технологии строительства, в частности недостижение нормативных показателей степени уплотнения грунтового основания; использование некачественных материалов; несоблюдение правил эксплуатации и ухода. Исходя из этого можно заключить, что вопросы проектирования и технологии строительства промышленных полов решены не в полной мере и требуют дальнейшего совершенствования.

Опыт эксплуатации бетонных полов на построенных объектах показывает, что между плитой пола и подстилающим ее основанием возможно образование местных зазоров, величина и область распространения которых неодинакова в различных зонах под плитой. Наличие многочисленных данных по результатам выполненных обследований позволяет заключить, что нарушение контакта плиты с основанием происходит в основном в результате многократного воздействия на полы колес тяжелого подъемно-транспортного оборудования, изменений внешних температурно-влажностных условий (особенно на ранних стадиях твердения бетона), использования чрезмерно подвижных бетонных смесей с большим содержанием цементного вяжущего, а также нарушений технологии ухода за свежееуложенным бетоном.

При многократном воздействии подвижных нагрузок также происходит накопление остаточных деформаций грунта подстилающего основания. При этом бетонные плиты в отдельных местах перестают опираться на грунт и начинают работать как консольные балки. Несущая способность плит в этом случае снижается, а их прогибы увели-



Горб Александр Михайлович
ЗАО «СК Конкрит Инжиниринг».
Советник РАЕ;
И. А. Войлоков,
ГОУ «Санкт-Петербургский
государственный политехнический
университет»

чиваются. Исследования показали, что наличие под бетонной плитой зазора в 20 мм приводит к увеличению прогибов более чем на 70%.

Результаты натурных испытаний показывают, что при наличии такого зазора плита пола может работать как консольная балка или как однопролетная балка. Нагружение консоли (режим работы «консольная балка») вызывает увеличение изгибающих моментов по сравнению с изгибающими моментами при полном контакте в 1,2–1,55 раза, а при расположении нагрузки в середине пролета (режим работы «однопролетная балка») значения изгибающих моментов возрастают в 1,25–1,65 раза. В результате исследований также установлено, что плита в напряженном состоянии, опирающаяся на основание с пониженным коэффициентом постели, оказывается в более благоприятных условиях, чем плита на основании, характеризуемом высоким коэффициентом постели.

Известно, что коробление плит, вызываемое усадкой бетона и неравномерностью температуры плиты по ее толщине, также может привести к отрыву ее отдельных участков от основания. Опытные данные подтверждают, что при короблении возможен отрыв от основания либо средней части плиты, либо ее контурных участков. При этом величина зазора между плитой и основанием может достигать 10 мм. Если учесть, что температурно-усадочные напряжения могут сложиться (при одинаковых знаках – в случае однонаправленного воздействия) с силовыми напряжениями, то появление зазора еще более усугубит условия работы плиты.

Различные по назначению швы в полах являются очагами разрушения не только плиты, но и подстилающего ее основания.

При эксплуатации полов в различных зонах плит возникают различные напряжения и деформации. Под действием колесной нагрузки плита начинает колебаться, и, как следствие этого, под ней образуются многочисленные пустоты и полости. Такое ухудшение схемы работы плит приводит к появлению в плитах напряжений, превышающих расчетные значения.

В теоретическом плане учет неполного контакта плиты с основанием представляет собой сложную задачу. Однако решения с определенной степенью точности для выбранных расчетных схем и краевых условий имеются.

Так, в работе [1] рассматривается полубесконечная балочная плита на упругом винклеровском основании. Расчетная схема представляет собой равномерно чередующиеся контактные и бесконтактные участки, а учет начального зазора производится введением в шестичленные уравнения фиктивных нагрузок. Решение уравнений осуществляется смешанным методом строительной механики.

Вопросу расчета плиты с учетом остаточных деформаций основания при действии многократно повторяющихся нагрузок посвящена статья [2], в которой приведены решения, показывающие, что величина остаточных прогибов зависит от механических свойств грунтового основания.

Авторы [3] рассматривают изгиб бесконечной ортотропной плиты при действии сосредоточенной нагрузки и собственного веса плиты с учетом зазора между плитой и основанием, вызванного многократным приложением нагрузки. Задача сводится к определению прогибов плиты ограниченных размеров и решается методом локальных вариаций. Полученные результаты свидетельствуют о том, что наличие зазора вызывает в плите дополнительный изгибающий момент, составляющий 10–15% от величины момента, возникающего в плите, полностью опертой на

упругое основание. В работе [4] предлагается система канонических уравнений для решения шестиугольной в плане плиты, лежащей на основании, допускающем образование остаточных деформаций. На основе выполненных расчетов при задании конкретных значений нагрузок и коэффициентов постели выявлено, что остаточные деформации основания способствуют увеличению изгибающих моментов в центре плиты от 40 до 70%.

Многочисленные исследования привели к тому, что в нормативные документы был введен коэффициент, учитывающий накопление остаточных прогибов в основании, равный 1,1.

Для количественной оценки напряженного состояния плиты, имеющей неполный контакт с основанием, был выполнен тестовый пример расчета, который также подтверждает значимость этой задачи. Анализ результатов показал, что наличие даже незначительного по площади зазора между плитой и основанием существенно изменяет ее напряженно-деформированное состояние, в частности прогибы увеличиваются на 15%, а напряжения возрастают от 7,5 до 14%.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Многолетние наблюдения за состоянием эксплуатируемых полов подтверждают, что они могут работать в условиях неполного контакта с основанием. Краткий анализ литературных данных позволил установить основные причины возникновения «зависания» плит. Это – многократность приложения внешней нагрузки, а также температурные и усадочные коробления плит;

2. Существующие теоретические методы учета начального зазора между плитой пола и основанием весьма сложны, при этом получаемые результаты противоречивы и не подтверждены опытными данными;

3. Результаты тестового расчета подтверждают, что наличие зазора между плитой и основанием ухудшает напряженно-деформированное состояние плит полов. Так, согласно проведенному расчету напряжения могут возрасти до 14%, а прогибы – до 15%;

4. Наличие неполного контакта плиты с основанием влияет на напряженно-деформированное состояние как самой плиты, так и основания под ней, и требуется проведение дальнейших исследований этой проблемы, основными задачами которых являются:

- выбор наиболее приемлемой модели работы системы «плита - основание» и обоснование этого выбора с учетом реального расположения нагрузок, температурно-усадочных воздействий, конструктивных особенностей плит и физико-механических свойств основания и материала плиты;
- теоретическая и экспериментальная оценка напряженного состояния плиты с учетом наличия зазоров;
- определение или уточнение значений существующих расчетных коэффициентов, учитывающих неполный контакт плиты с основанием.

Автор:

Горб Александр Михайлович
ЗАО «СК Конкрит Инжиниринг».
Директор. Советник РАЕ,
член международного
союза экспертов по строительным
материалам, системам
и конструкциям RILEM,
Американского института
бетона ACI
и Британской ассоциации
бетона CS;
И. А. Войлоков,
ГОУ «Санкт-Петербургский
государственный
политехнический университет»

Список литературы:

1. Демин В. И. К расчету балочных плит на упругом основании с учетом начального зазора / Труды ГОСНИИ. Вып. 9, 1981. - С. 9-11.
2. Глушков Г. И. Расчет аэродромных покрытий с учетом остаточных деформаций основания / Труды МАДИ. Вып. 57, 1973. - С. 25-33.
3. Медников И. А., Матвеев С. А. Расчет ортотропной плиты при неполном контакте с упругим основанием / Труды МАДИ, 1981. - С. 34-45.
4. Янин А. Е. Жесткие покрытия сельскохозяйственных аэродромов и подъездных путей: Автореф. канд. дис. - М., 1991. - 19 с.