

Данная задача представляет собой типичный пример задачи оптимизации, так как ставится условие определения наименьшего значения одного параметра путем вариации другими с учетом ограничений. Минимизируемый объем перекрытия  $V = V_{\text{пл}} + V_6 = LIH + ah^2LN$  является целевой функцией. Условия прочности балок  $\sigma_6 = \frac{M_6^{\text{из}}}{W_6} = \frac{3qlL^2}{2Nah^3} \leq [\sigma_6]$  и плит  $\sigma_{\text{пл}} = \frac{M_{\text{пл}}^{\text{из}}}{W_{\text{пл}}} = \frac{3ql^2}{2N^2H^2} = [\sigma_6]$  являются вынужденными ограничениями. Целевая функция и вынужденные ограничения описываются нелинейными функциями, имеющими форму полинома. Оптимизационные задачи подобного вида удобнее всего решать, применяя достаточно хорошо разработанную теорию геометрического программирования. В символах задачи геометрического программирования целевая функция и вынужденные ограничения принимают вид:

$$Z_{\text{extr}} = V_{\text{min}} = c_1 x_1^1 x_2^0 x_3^0 + c_2 x_1^0 x_2^2 x_3^1; \quad (1)$$

$$c_3 x_1^0 x_2^{-3} x_3^{-1} \leq 1; \quad (2)$$

$$c_4 x_1^{-2} x_2^0 x_3^{-2} \leq 1. \quad (3)$$

Переменными величинами в уравнении, соответствующем целевой функции, и неравенствах, соответствующих вынужденным ограничениям, являются следующие параметры:  $x_1 = H$  – высота плиты,  $x_2 = h$  – высота балки,  $x_3 = N$  – число балок в перекрытии. В эти же уравнения и неравенства входят константы:  $c_1 = Ll$ ,  $c_2 = La$ ,  $c_3 = \frac{3qlL^2}{2a[\sigma]}$ ,  $c_4 = \frac{3ql^2}{2[\sigma]}$ . На основании формул (1) – (3) составляется

система линейных уравнений из условия нормировки и условий ортогональности, решение которой определяет величину весовых коэффициентов ( $\omega_{01} = 0,25$ ;  $\omega_{02} = 0,75$ ;  $\omega_{11} = 0,5$ ;  $\omega_{21} = 0,125$ ), после чего по полученным значениям двойственных переменных можно определить экстремальное значение целевой функции. Перекрытие минимальной массы из стали имеет следующие параметры:  $V_{\text{min}} = 10,5 \text{ м}^3$ ,  $N = 31$  шт.,  $h = 0,318 \text{ м}$ ,  $b = 80 \text{ мм}$ ,  $H = 8,75 \text{ мм}$ , из железобетона:  $V_{\text{min}} = 17,44 \text{ м}^3$ ,  $N = 28$  шт.,  $h = 0,43 \text{ м}$ ,  $b = 110 \text{ мм}$ ,  $H = 14,7 \text{ мм}$ . Результаты расчетов на ЭВМ при вариации количества балок от 3 до 60 штук полностью согласуются с результатами, полученными путем решения задачи оптимизации. Следует отметить, что в качестве материала для изготовления целесообразнее применять не сталь ( $V_{\text{min}} = 10,5 \text{ м}^3$ ), а железобетон ( $V_{\text{min}} = 17,44 \text{ м}^3$ ), так как для принятых исходных данных вследствие разницы удельных масс отношение полезной нагрузки к собственной массе в первом случае составляет только 2,7, а во втором – 5,9.

В итоге применения при решении задачи метода геометрического программирования получены формулы, позволяющие наименее трудоемко определять параметры оптимального перекрытия, соответствующего выбранной расчетной схеме.

УДК 624.131.51

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ ЗЕМПОЛОТНА НА ДЕФОРМИРУЕМОМ ОСНОВАНИИ

О. А. РУБАН

Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта

Ю. Б. БАЛАШОВА

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

О. А. ВЕРХНЯЦКИЙ

Приднепровская железная дорога

Значительная протяженность железнодорожных путей находится в зоне деформирования оснований, вызванного техногенными причинами, а также изменением гидрогеологического режима. Поэтому задача обеспечения устойчивой работы земполотна на деформируемом основании является актуальной.

Эксплуатация дорожных сооружений при высоких скоростях движения экипажей с повышенной грузоподъемностью ставит задачу прогноза устойчивости земполотна в сложных инженерно-геологических условиях. Эффективность работы транспорта существенно зависит от пропускной способности дорожных сооружений. Состояние дорожных конструкций, уровень соответствия их параметров предъявленным требованиям, а также качество и соответствие строительных и грунтовых сооружений определяют возможность полного использования дорожного ресурса. Большинство существующих современных дорог имеют проблемные участки. Эксплуатационные возможности дорог зависят от техногенных и природных факторов. Основные эксплуатационные характеристики земполотна определяются плановым и профильным положением. Участки дорожного полотна, которые находятся на деформируемом основании, характеризуются наличием горизонтальных и вертикальных смещений проектного положения конструкций. При этом можно выделить и аппроксимировать как вертикальные и горизонтальные кривые на прямолинейных участках, так и изменение радиусов проектных кривых, что отрицательно сказывается на характеристиках плавности хода экипажей. Установленный проектом скоростной режим движения поездов не может быть безопасным в условиях горизонтальных и вертикальных деформаций земполотна, поскольку их величины достигают определенных значений по результатам натурных обследований и составляют от десятков сантиметров до нескольких метров при различном режиме изменения скорости деформирования основания.

Безопасность движения поездов на участках деформирования основания определяется интервалом допускаемых скоростей. Общим случаем рассмотрения задачи устойчивости земполотна является пространственное расположение подвижной нагрузки при произвольном расположении равнодействующей в пространстве. Однако такая расчетная схема является достаточно сложной и требует решения при использовании принципа суперпозиции, разложения на более простые задачи с учетом произвольно расположенной на плоскости подвижной нагрузки. Оценить влияние такой нагрузки на базе классических методов расчета устойчивости невозможно. Классические методы расчета устойчивости грунтовых сооружений позволяют определять коэффициенты устойчивости с заменой вертикальной временной нагрузки эквивалентным слоем грунта, при этом отсутствует возможность функционального учета скорости движения транспортных средств. Решение задачи устойчивости известными методами невозможно без учета изменения геометрических параметров грунтового массива в условиях деформирования основания. Следует отметить также, что нет возможности учета в расчетах горизонтальной и вертикальной составляющих подвижной нагрузки. Влияние слоистости земполотна, как естественной, так и искусственной (армирование), осложняет решение задачи устойчивости при произвольно расположенной на плоскости нагрузке, движущейся с различными скоростями. Скорость передвижения нагрузки по измененной в плане и профиле слоистой конструкции вызывает дополнительные усилия, которые необходимо учитывать при проектировании новых сооружений, реконструкции эксплуатируемых и оценке современного состояния транспортных объектов.

Многочисленные попытки описания перемещения основания от природных и техногенных факторов не привели к возможности однозначного закона их распределения. Такое положение объясняется многофакторностью зависимости перемещений от конструктивных, технологических, геологических, гидрогеологических и техногенных причин. Оценка влияния перемещений по различным направлениям целесообразна при расположении подвижной нагрузки, произвольно направленной на плоскости, на устойчивость слоистого сооружения, в частности, на предельное состояние отдельных элементов системы и всего сооружения в целом. Искусственные слоистые сооружения рассчитываются на устойчивость с особенностями, связанными с отличиями работы таких сооружений, как композитных систем. При этом рассматриваются две формы потери устойчивости: локальная и общая. Отсутствие математической модели, которая адекватно отражала бы физическую сущность работы композитных систем, ставит задачу о создании аналитического решения. Такое решение может быть получено на основе применения вариационного исчисления и дает возможность определения устойчивости сооружения без разделения на локальную и общую. Таким образом, может быть получено решение задачи по определению поверхности скольжения композитных систем с учетом всех возможных форм потери устойчивости. Формы потери устойчивости включают в себя как элементы локальной, так и формы, полученные с учетом взаимодействия элементов композитной системы и пассивной части сооружения.

Задача влияния подвижной нагрузки на устойчивость слоистых грунтовых систем может быть решена последовательно. На первом этапе решается вопрос устойчивости слоистых систем с учетом полезной подвижной нагрузки, а на втором этапе устанавливается допустимый скоростной режим транспортных средств из условия обеспечения установленных запасов устойчивости слоистых грунтовых систем.

Многослойность сооружения при сложении его несколькими разнородными элементами, причем каждый слой является однородным, может быть учтена условиями сопряжения кривой скольжения на граничных участках, так называемые условия склейки. Форма потери устойчивости таких сооружений описывается вариационным исчислением как сумма функционалов каждого слоя, соответствующего предельному состоянию отдельных элементов сооружения.

Функционалы устойчивости каждого из слоев определяются интегралами на рассматриваемом участке, а общий функционал устойчивости – суммой определенных интегралов по каждому слою и по каждой возможной форме потери устойчивости. Решение результирующего дифференциального уравнения проводится в численном виде с заданной степенью точности.

УДК 624.073

## О СОСТОЯНИИ НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВОКЗАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

А. А. СИВАК

Белорусская железная дорога

И. А. КУДРЯВЦЕВ

Белорусский государственный университет транспорта

Одной из важнейших социальных проблем, существующих в настоящее время, является подержание в пригодном состоянии сооружений транспорта, к которым относятся здания вокзалов. Восстановленные в большинстве случаев после войны здания вокзалов характеризуются деревянными чердачными и стропильными перекрытиями. Согласно нормативным документам срок службы деревянных оштукатуренных перекрытий по деревянным балкам составляет 50 лет, а несущих стропильных систем – 40 лет. Поэтому большинство из них или исчерпали свой срок службы, или приближаются к нему. Этот вывод касается и здания основного корпуса БелГУТа в г. Гомеле, и аналогичных объектов на Украине и в странах Балтии. Поэтому для оценки реального состояния конструкций и получения информации о возможности дальнейшей эксплуатации их необходимо выполнить детальное обследование, которое позволит выявить дефекты и повреждения элементов, приобретенные в течение времени.

В связи со сказанным уже в настоящее время необходимо провести комплексный мониторинг состояния конструкций для выдачи рекомендаций о возможности эксплуатировать их в течение некоторого периода и, соответственно, предотвращения аварийных ситуаций. Заключение о возможности безопасной работы объекта должно включать в себя не только визуальный осмотр, но и применение отдельных способов неразрушающего контроля, в том числе и простукивание.

Анализ произошедшего обрушения чердачного перекрытия здания магазина в г. Светлогорске показал, что конструкции после 40 лет эксплуатации находились в удовлетворительном состоянии, отсутствовали повреждения древоточцами и грибами. Однако древесина узлов верхнего пояса в местах заделки в кирпичную кладку в результате гниения (которое визуально не обнаруживается) значительно снизила свои прочностные свойства и не смогла выдержать нагрузку, передаваемую на конструкцию, в результате чего произошло обрушение. Поэтому мы считаем необходимым каждый такой узел обязательно исследовать на наличие гниения, грибов, древоточцев и т.д. В БелГУТе имеется методика определения этих дефектов. Данное предложение касается не только узлов, но и всех элементов стропильных систем и чердачных перекрытий, особенно в труднодоступных местах. Известно, что расчетные сопротивления древесины определяются для сроков службы древесины до 50 лет. За пределами установленного срока значения нормируемых характеристик прочности должны корректироваться с учетом временного фактора. По нашим данным, среднее значение прочности породы после 50 лет эксплуатации в первом приближении коррелируется выражением

$$R_t = R_{50} / [1 + e^{\alpha(t-50)}],$$