

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ЗЕМЛЯНОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СООРУЖЕНИЕ

Запропоновано методику порівняльного розрахунку земляного залізничного полотна на основі використання методу скінчених елементів та результати проведених автором досліджень можливостей методу.

CONFORMITY TO NATURAL LAWS OF INFLUENCE DYNAMICS RAILWAY LINE

Move the method of comparison calculations of railway line on founding utiliraitans of method final elements and results possibilities of methods.

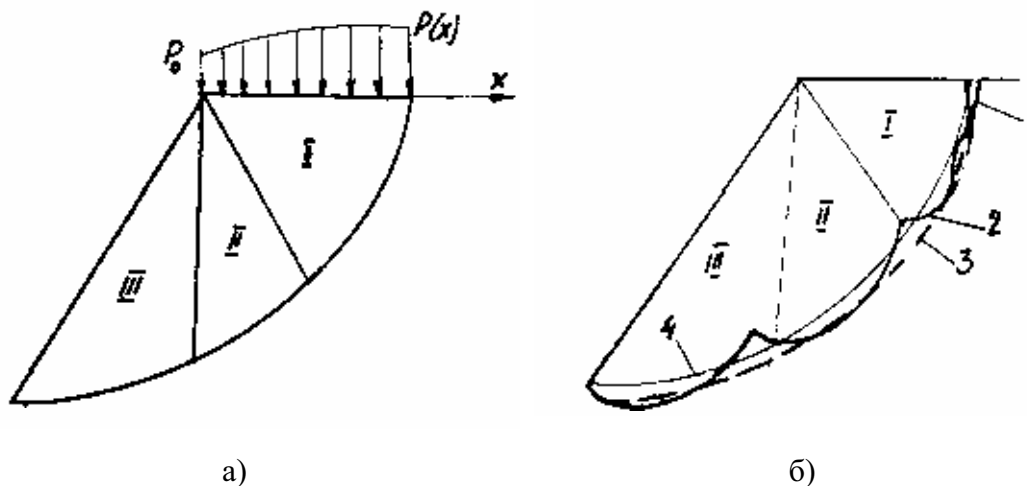
Методики определения устойчивости земляных откосов достаточно разнообразны, отработанны, а техническое их применение в различных условиях и для различных характеристик грунтов достаточно просто. Для скалистых грунтов в условиях карьеров устанавливаются реперы долгосрочного контроля. Нарушения слабых откосов, например, железнодорожного земляного полотна, определяются по поверхностным изменениям визуально.

Реперные исследования отражают поверхностные изменения и, в какой то мере характеризуют процессы на глубине их установки. Энтропия поверхностных изменений, в общем, отражает состояние откосов земляного железнодорожного полотна, однако это действительно до появления зон растяжения или трещин внутри любого массива. Таким образом, приходим к выводу, что методики оценки состояния земляных нагруженных откосов нуждаются в уточнении, особенно в отсутствии геотехнических средств постоянного контроля – мобильных вагонов геотехнических станций.

Широко используемый и интерпретируемый [1] для различных случаев “метод отсеков” К. Терцаги имеет достаточно известные своими допущениями недостатки: условный выбор ширины отсеков и толщины поверхности скольжения, приблизительное назначение физических свойств грунтов по одиночным пробам и окончательное принятие коэффициента запаса устойчивости. Предлагая свой метод К. Терцаги признавал его недостаточным и рекомендовал постоянно совершенствовать.

Рассматривая влияние гравитационных сил $P(x)$ на напряженное состояние откоса [2] обоснованно предложил учитывать (рис. 1а) три потенциально неустойчивые области, а также доказал возможность формирования трещины на поверхности. Однако если пойти дальше, то следует предположить, что присутствие трещины изменяет направление действия сил веса и в основании области активного состояния (рис. 1а, 1) давления уменьшаются, а поверхность скольжения изменит свою форму (рис. 1б, 2). В этом случае возможно восстановление свойств грунтов, при этом на границе неустойчивой области появляется условная поверхность смятия, которая может учитываться в запас устойчивости откоса. Ограничивая эту зону траекторией (рис. 1б, 3) получаем толщину по-

верхности смятия, которая также учитывается в запас устойчивости. Однако для учета смятия в пределах определенной зоны необходима методика, лабораторное оборудование и достаточно продолжительные исследования для создания базы характеристик грунтов.



а) – I – область активного состояния; II – область переходного состояния; III – область пассивного состояния; б) – схема расположения области смятия: 1 – вертикальная трещина; 2 – предполагаемая поверхность скольжения в области активного состояния; 3 – траектория поверхности смятия; 4 – линия проектного сдвижения, по которой определяется коэффициент устойчивости

Рис. 1 - Схема разбивки потенциально-неустойчивой области склона в зависимости от напряженно-деформированного состояния в нем под действием гравитационных сил.

Объединение двух методов несколько усиливает понимание формирования процесса сползания, однако, возвращаясь к [1], рассмотрим состояние земполотна методом имитационного моделирования. Для этого используем метод конечных элементов, как наиболее точный из имеющихся численных методов. Практическая реализация моделирования МКЭ выполнялась на основе лицензионного профессионального комплекса Structure CAD for Windows, Version 7.29 R3 (SCAD) [3].

Деформационные свойства конечных элементов определялись по материалам реального земляного полотна на участке 113,5 км скоростной трассы перегона Днепропетровск - Пятихатки: суглинок твердый, модуль упругости $E = 35,2$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$, удельный вес $\gamma = 19$ КН/м³, тип жесткости 1. Толщина конченного элемента 1 м, размеры – от 0,5×1 м до 1×1 м.

Для расчетов влияния динамического нагружения (что соответствует рис. 2-2) неожиданно выявлено закономерность, которая заключается в неизменности расположения полей напряжений *независимо* от увеличения скорости подвижного состава при изменяющихся числовых данных, которые приведены в таблице. Это подтверждает открытую ранее закономерность [4], которая заключается в том, что при скоростях нагружения, меньших скорости распространения звука в данном материале, величина удельной энергии твердого материала в области деформирования, предшествующей его разрушению, остается постоян-

ной. При этом определены изменения по передаточному числу n (табл. 1), которые показывают на уменьшение динамического влияния подвижной поездной нагрузки с глубиной (1,5 – 2 м).

Таблица 1 – Данные принятых расчетных нагрузок

№ варианта	Скорость V (км/год)	Динамическая нагрузка q на земполотно (кН / м ²)	n – передаточное число: по напряжениям сжатия – растяжения // по нагрузке МКЭ; h – глубина распространения вертикальных перемещений, м
1	70	150	– 0,8
2	140	540	1 / 2 варианту $(-27,52)/(-7,64) = 3,6$; $(24,07/6,69) = 3,6$ // $540/150 = 3,6$ 2,5
3	210	1200	1 / 3 варианту $(-61,15)/(-7,64) = 8$; $(53,49)/(6,69) = 7,99$ // $1200/150 = 8$; 2 / 3 варианту $(-61,15)/(-27,52) = 2,2$; $(53,49)/(24,07)$ // $1200/540 = 2,22$ 2,8

Из сравнительного анализа напряженного состояния следует выделить то, что неоднородность ведет к появлению зон пластического деформирования, а именно, под действием набегающей волны поездной нагрузки в центре модели. Характер пластического деформирования в этих зонах обусловлен высоким уровнем напряжений сжатия – до 0,6115 МПа (вариант 3). Однако ближе к борту откоса появляются зоны пластического деформирования, в которых возникают напряжения растяжения (до 0,5 МПа), что также является *закономерностью*. Учитывая блочную систему МКЭ и предполагая сглаженность углов этой зоны в реальном земляном полотне, дадим ей наименование – *сегментная зона растяжения*.

Обоснование возможности появления сегментной зоны находим в [5], где рассмотрено процесс трещинообразования с выделением энергии W , накопленной в нагруженном теле при его разрушении. При $W > 0$ образование трещины выступает как форма релаксации неравновесной незамкнутой системы, какой является нагруженное тело. Для эволюции таких систем характерно уменьшение свободной энергии F во времени, при чем из всех возможных траекторий релаксации реализуется та, для которой величина F максимальна. При образовании одной трещины свободная энергия $F = W - TS$ понижается за счет возрастания информационной энтропии на величину $\Delta S = K \ln \Delta N$, вызванного наличием в теле эффективных мест возможного трещинообразования. Учитывая эту трактовку, сегментную зону растяжения можем рассматривать как прирост энтропии внутри твердого тела. Такое обоснование преобразования энергии нагружения в земполотне дополняет устоявшееся положение об энтропии поверхностных изменений.

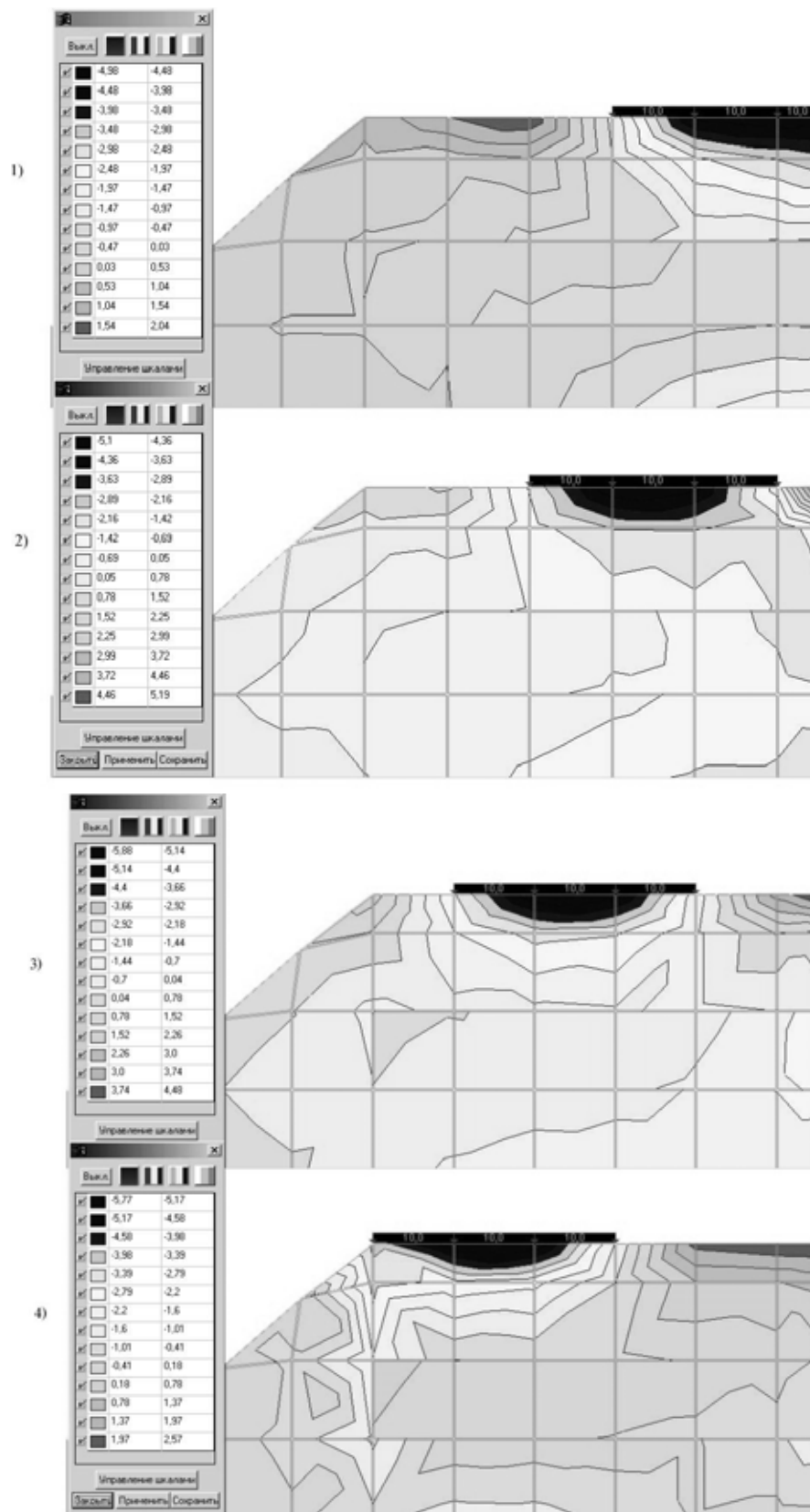
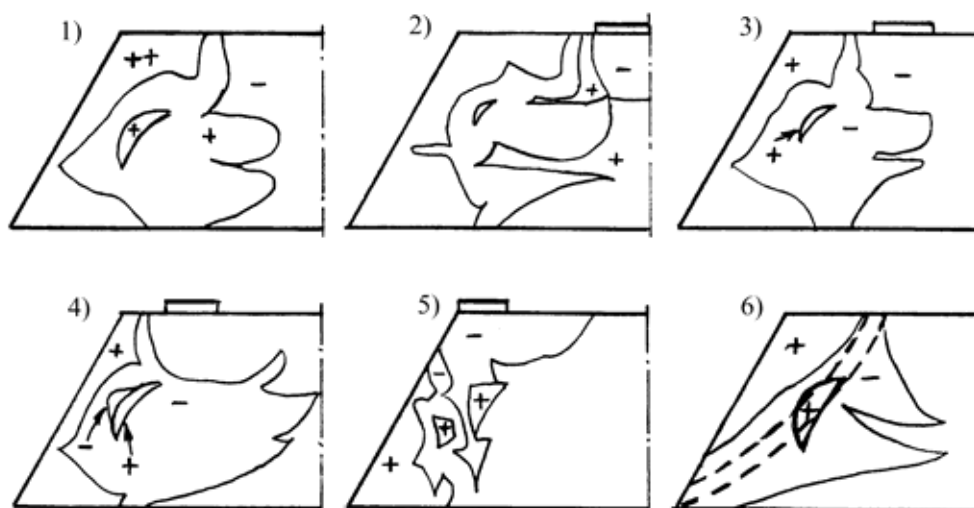


Рис. 2 - Схема расположения изополей напряжений в зависимости от приложения нагрузки по ширине земляного полотна (2 – соответствует схеме изменения динамических нагрузок, приведенных в табл. 1)

Обращаясь к рис. 1а, 1 отметим, что сегментная зона находится в пределах

области переходного состояния, а это объясняет ее физический смысл как неустойчивой системы, способной к самовосстановлению, и дает право считать, что объединение методов для анализа имеет право на существование. Подобные зоны отмечены и в междупутье, но более опасны они на откосах свободных в направлении к дневной поверхности. Конечно такое рассуждение справедливо при рассмотрении чисто геомеханической системы и при условии исключения из анализа возможности влияния на процесс биологических факторов, реально присутствующих в пассажирском движении.

Из количественного анализа напряжений-перемещений этого случая нагружений возможно сделать вывод, что эксплуатация земляного полотна для скорости движения поездов 140 км/час, по запасам прочности возможна, а при скорости 210 км/час выделенные зоны становятся неуравновешенными, переходя в критическое состояние потери устойчивости. При этом следует отметить, что вертикальные перемещения с увеличением скорости распространяются на нижние слои земполотна.



1 – трех вариантов динамического нагружения; 2 – 5 – четырех вариантов приложения путевой нагрузки по поверхности земполотна; 6 – общая схема характерных закономерностей с возможной поверхностью сдвижения.

Рис. 3 - Характерные расчетные картины изополей на границе напряжений сжатия (-) и растяжения (+).

Для исследования информативности предложенного метода и внедрения в нормативную документацию, рассмотрим варианты со смещениями железнодорожного пути рис. 3 (2...5). Характер изополей при смещении нагрузки к откосу изменяется реакцией земполотна и увеличением зоны растяжений в середине, при этом возле сегментной зоны (рис. 3, 4) со стороны откоса возникает активная смена изополей (приращение энтропии), что дает возможность трактовать это явление как активное расширение зоны растяжения. Смещение рельсошпальной решетки на границу откоса вызывает сложную картину распределения напряжений, зона растяжения перемещается на откос, предполагая воз-

возможность появления выпора грунта на откосе.

Характерной особенностью данного пакета МКЭ оказалась возможность рассмотреть, в процессе презентационной графики, картину взаимовлияния радиусной зоны распространения поездной нагрузки с горизонтальной гравитационной составляющей напряжений. На границе контакта этих зон появляется клиновидный выплеск напряжений сжатия, обусловленный неустойчивостью клиновидной формы перехода, угол которой меньше физического угла внутреннего трения материала, из которого состоит реальное земляное полотно.

Следует отметить также количество появляющихся клиновидных выплесков напряжений, как в одном, так и в разных направлениях по линиям-границам конечных элементов. Скорее всего, это можно отнести к недостаткам метода, в котором заложены достаточно большие по размерам конечные элементы, где граница каждого конечного элемента вносит относительные ошибки. Однако на первом этапе сравнительного анализа нескольких методов, когда объем численных операций МКЭ влияет на их реализацию и точность отражения реальной картины презентационной графики, такие погрешности допустимы. Отсюда следует предположить о необходимости уменьшения размеров конечных элементов.

Рассмотрение обобщенной картины (рис. 3, 6) распределения напряжений и приведенный анализ дают возможность предположить о существовании **закономерности**. Заключается она в том, что преобразование энергии приложенной силовой нагрузки на горизонтальную поверхность земляного транспортного откоса проявляется в формировании в зоне переходных напряжений сжатия-растяжения, на расстоянии 1,5 – 2 м от дневных поверхностей откоса, локальной сегментной зоны растяжения. Эта зона обусловлена клиновидным выпором напряжений сжатия из глубины откоса и образует, с зоной поверхностных переходных напряжений, в которой возможно появление дневной трещины при увеличении нагружения до критического, начальную поверхность скольжения тела сползания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геотехника – новая инженерно-строительная специализация / М.Н. Гольдштейн и др. // Сб. научн. тр. ДИИТ. Исследование устойчивости геотехнических сооружений. – Днепропетровск, 1992. – С.4–14.
2. Горбунов-Посадов М.И. Устойчивость фундаментов на песчаном основании. – М.: Стройиздат, 1962. – С. 96.
3. Рикардс Р. Б. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин. – Рига.: Зинатне, 1988. – 284 с.
4. Малков В.П., Крамарев Л.Н. Закономерная связь удельной энергии деформирования твердого материала и скорости силового нагружения при однородном напряженно-деформированном состоянии. Диплом № 78 / Научные открытия. Сб. кратких описаний за 1998. Москва-Н.Новгород, 1999. – С. 49-50.
5. Мещанинов С.К. Исследование механизма поведения кровли с использованием пространственно-временного показателя устойчивости // Геотехническая механика, выпуск 41. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2003. – С. 119-126.