



Смолин Юрий Петрович после окончания Хабаровского института инженеров железнодорожного транспорта был направлен на работу в Красноярск в НИИ по строительству для Крайнего Севера. В 1970 г. поступил в аспирантуру НИИЖТа и в 1973 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование параметров консолидации глинистых грунтов». После защиты диссертации – доцент кафедры «Геология, основания и фундаменты». В 1985–1987 гг. работал по контракту главным консультантом Государственной компании по исследованию водных ресурсов Сирии. Основным предметом научной деятельности являются проблемы динамического воздействия подвижного состава на земляное полотно железных дорог. В 2005 г. защитил докторскую диссертацию. Опубликовал более ста научных трудов.

УДК 625.122:624.131.53

Ю. П. СМОЛИН

К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДТОПЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ НАСЫПЕЙ, СЛОЖЕННЫХ МЕЛКИМИ ПЕСКАМИ

В статье приводится методика рациональной оценки устойчивости земляного полотна железных дорог с учетом вибродинамических воздействий от поездной нагрузки. Методика основана на сопоставлении расчетных и критических ускорений в насыпях. Указанные величины определяются на основе результатов выполненных лабораторных и натурных исследований.

С целью оценки устойчивости подтопленных песчаных насыпей от динамического воздействия поездной нагрузки были исследованы критические ускорения водонасыщенных песков, отобранных на опытных участках земляного полотна. Исследование критических ускорений осуществлялось в лабораторных условиях. Для опытов по линии Тюмень – Сургут из шурфов отбирались пробы грунтов в мешочки и доставлялись в лабораторию для гранулометрического анализа. Установлено, что на опытных участках, где проводились замеры параметров колебаний грунтов насыпей от воздействия поездной нагрузки, земляное полотно сложено мелкими песками.

Пробы песков помещались в одну тару, и в дальнейшем лабораторные работы по определению критических ускорений проводились для одного смешанного песка независимо от глубины отбора грунта и участка насыпи.

Исследование критических ускорений осуществлялось в специально сконструированном для этой цели безынерционном стабилометре (рис. 1).

Боковое и вертикальное давление на образец создавалось водой от гидронасоса, при этом исключалась инерционность нагрузок при вибрации, что имеет место в некоторых стабилометрах, где вертикальное давление к образцу прикладывается с помощью рычажного устройства.

Методика проведения опытов состояла в следующем. По заданной плотности грунта определялась навеска грунта естественной влажности. Эта навеска укладывалась в форму образца, чем достигалась плотность, соответствующая природной. После зарядки стабилометр жестко крепился на вибростоле вибростенда ВЭДС–200А. С помощью плунжерных пар в камерах стабилометра создавались вертикальное σ_1 и боковое σ_3 давления. При этом боковое давление

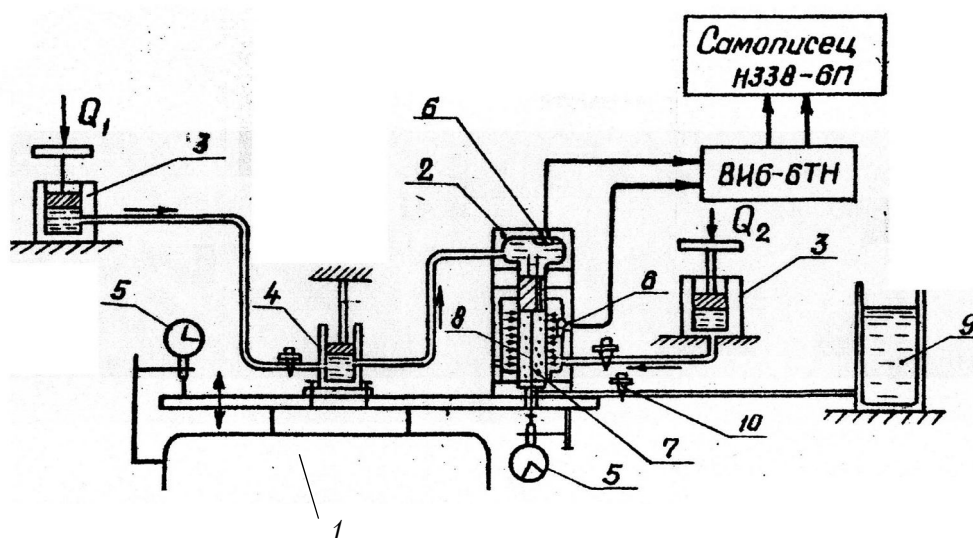


Рис. 1. Схема установки для определения критических ускорений водонасыщенных песков: 1 — ВЭДС-200А — вибростенд; 2 — стабилометр; 3 — плунжерная пара; 4 — поршень; 5 — индикатор; 6 — датчик давления; 7 — образец грунта; 8 — медицинская игла; 9 — цилиндр с водой; 10 — кран

прикладывалось и оставалось постоянным, а вертикальное давление увеличивалось с одновременным вибродинамическим воздействием.

Динамическое воздействие вертикального давления создавалось следующим образом. Поршень плунжерной пары 4 жестко крепился к неподвижной раме, а цилиндр ее при работе вибростенда перемещался вместе с вибростолом. В камере создавалось динамическое давление, которое помимо статического воздействовало на образец 7. Образец грунта испытывал также действие инерционных сил от собственной массы.

Деформация образца грунта замерялась с помощью индикатора часового типа 5, который жестко крепился к вибростолу. Подвижная часть индикатора соединялась с иглой 8, вставленной в образец через нижнее пористое дно. Игла своим верхним концом упиралась в поршень стабилометра. При вибрации образец деформировался и по перемещениям иглы фиксировались его деформации.

Перед испытанием образец грунта полностью водонасыщался непосредственно в стабилометре. Для этой цели снизу стабилометра в образец поступала вода из специального цилиндра 9. Замачивание производилось при небольшом гидравлическом градиенте, чтобы не происходило разуплотнение или разрушение образца напором воды. Уровень воды в цилиндре контролировался с помощью изометрической трубки. Увеличение столба воды в трубке до высоты, равной противодавлению, предотвращал отток поровой воды из образца. Этим самым обеспечивалось полное водонасыщение грунта. В противном случае даже при незначительном гидростатическом давлении, приложенном к образцу, в нем происходит консолидация грунта и он не будет считаться водонасыщенным. А это значит, что образец не будет соответствовать условиям работы грунта в подтопленных насыпях, где реально при приложении поездной нагрузки в водонасыщенном грунте не происходит консолидации.

По окончании замачивания к образцу прикладывалось вначале гидростатическое давление, а затем увеличением вертикального давления создавалось

необходимое соотношение главных напряжений. После стабилизации деформаций образца при соответствующем напряженном состоянии включался вибростенд при заданной частоте колебаний.

Постепенно увеличивая интенсивность вибраций, начиная со значений ускорений, равных $0,1g$, до необходимых ускорений, амплитуды колебаний вибростола измеряли датчиком вибросмещения ДВ-2СМ аппаратуры ВИБ-6ТН. Этим самым контролировалось значение ускорений вибростенда. Время вибраций при каждом режиме колебаний принималось равным 60 с. Затем вибростенд выключался, снимались отсчеты по индикаторам перемещений и самописцу, а затем вновь включался вибростенд с той же частотой колебаний, но с большими значениями ускорений и т. д. Интенсивность виброускорений возрастала до тех пор, пока плотность скелета грунта начинала резко изменяться, при этом деформация резко увеличивалась. Критическим воздействием считалось то, при котором нарушалась линейная зависимость ускорений и деформаций образца. Кроме того, за величину критического ускорения принимались такие значения, при которых поровое давление возрастало на 5 % по отношению к статическому [1].

В опытах сложное напряженное состояние насыпей соответствовало напряжениям, которые имеют место в реальных условиях. Перед тем как задать величины соотношений главных напряжений, выяснялось, какие соотношения напряжений возникают в теле насыпи от собственного веса грунта и воздействия поездной нагрузки.

Напряжения от собственного веса грунта в насыпи определялись по формулам, полученным И.З. Лобановым [2]. Напряжения от поездной нагрузки, с учетом динамического воздействия на насыпь, определялись по формулам, установленным в результате аппроксимации опытных данных [3].

В качестве примера в расчет принимались следующие параметры насыпи и характеристики грунта: однопутная подтопленная железнодорожная насыпь высотой 6,2 м с уклоном откосов 1 : 1,5, сложенная из мелкого песка, коэффициент Пуассона для которого принят 0,27. Плотность песка во взвешенном состоянии принималась 1 г/см^3 . Уровень грунтовых вод при подтоплении был принят максимальным по нормам и составил 1,2 м ниже уровня основной площадки.

Вначале подсчитывались вертикальные σ_z , горизонтальные σ_x и касательные τ_{zx} напряжения от собственного веса грунта и внешней нагрузки. Затем определялись главные напряжения σ_1 и σ_3 . На рис. 2 нанесены на профиль насыпи вычисленные значения σ_1/σ_3 .

Видно, что максимальные соотношения главных напряжений в насыпи от собственного веса грунта составляют 3,5 : 1. При этом можно заметить, что максимальные соотношения главных напряжений находятся в откосной части насыпи, притом чем ниже к основанию откоса, тем эти соотношения больше.

Установлено, что суммарное соотношение главных напряжений от собственного веса грунта и поездной нагрузки в насыпи находится в пределах от 1,5 : 1 до 3,5 : 1, притом большие соотношения этих напряжений находятся в откосных частях насыпи.

Опыты в стабилометре были проведены при соотношениях главных напряжений 1,5 : 1; 2 : 1; 2,5 : 1. При больших соотношениях главных напряжений образцы в стабилометре разрушались даже без динамики.

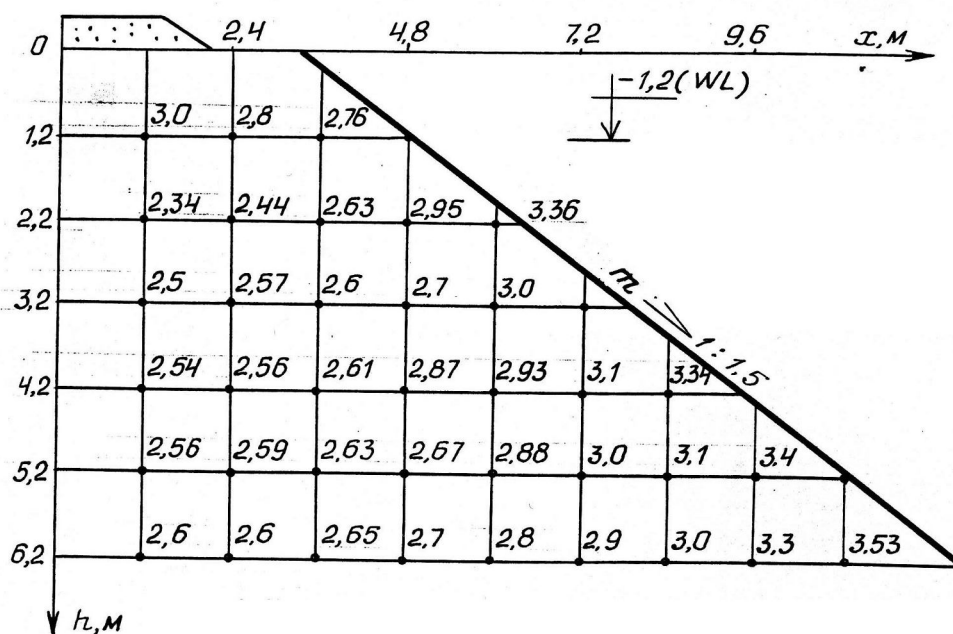


Рис. 2. Соотношения главных напряжений σ_1/σ_3 от собственного веса грунта и поездной нагрузки

Известно, что на величину критических ускорений влияет частота колебаний, поэтому вначале были проведены опыты, которые устанавливали влияние частоты колебаний на величины критических ускорений [1]. На рис. 3, а показаны графики изменения критических ускорений в зависимости от частоты колебаний, а на рис. 3, б приведены графики критических ускорений в зависимости от плотности сухого грунта.

На графиках видно, что минимальные критические ускорения приходятся на частоты 15...20 Гц, затем с увеличением частоты возрастают критические ускорения. Также из графиков видно, что критическое ускорение резко возрастает с повышением плотности водонасыщенного песка. При соотношениях главных напряжений образца, равных 1,5 : 1, при плотностях от $\rho_d = 1,47$ г/см³ до $\rho_d = 1,58$ г/см³ критические ускорения возрастают в 2,5 раза, а при соотношениях главных напряжений 2,5 : 1 при плотностях от 1,55 до 1,68 г/см³ критические ускорения увеличиваются в 7 раз.

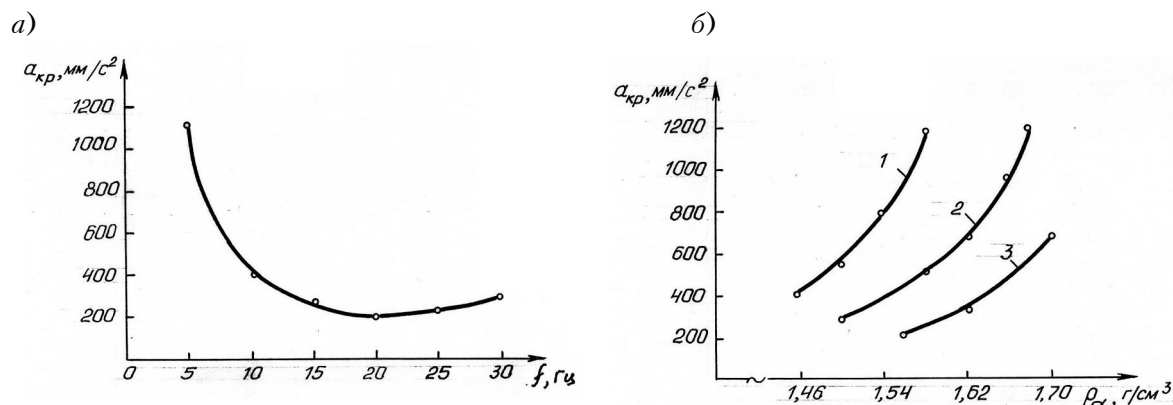


Рис. 3. Зависимость изменений критических ускорений $a_{кр}$ для опытного песка от: а — частоты колебаний (при $\rho_d = 1,56$ г/см³ и $\sigma_1/\sigma_3 = 2,5 : 1$); б — плотности сухого грунта (1 — при соотношениях главных напряжений $\sigma_1/\sigma_3 = 1,5 : 1$; 2 — 2,0 : 1; 3 — 2,5 : 1)

Результаты опытов по исследованию критических ускорений могут использоваться при оценке устойчивости откосов насыпей в зависимости от возникающих в насыпях ускорений, амплитуд и частот колебаний.

Найденные значения критических ускорений при соответствующих отношениях главных напряжений сравниваются с вычисленными расчетными ускорениями, возникающими в земляном полотне при движении поезда. Расчетное ускорение колебаний a_w^p не должно превышать критического значения ускорений ($a_w^p < a_{кр}$) во всех интересующих нас горизонтах водонасыщенной грунтовой толщи. Критическое ускорение должно отвечать условиям заданного динамического режима, соответствовать характеристикам плотности песка и действующим напряжениям в рассматриваемой точке насыпи.

Для примера приведем анализ устойчивости шестиметровой обводненной насыпи. Для этой насыпи расчетным путем по формулам, данным в [4], определялись ускорения колебаний в отдельных ее точках. На рис. 4 приведены вычисления ускорения колебаний в сухой и обводненной частях насыпи при скорости движения поезда $V = 90$ км/ч и нагрузке на ось $P = 240$ кН. Частота колебаний при вычислении ускорений принималась равной 20 Гц. Обращаясь к рис. 2 и 3, б, где показаны соотношения главных напряжений σ_1/σ_3 от собственного веса грунта и поездной нагрузки и зависимости критических ускорений от плотности ρ_d , делаем заключение, что условие устойчивости насыпи будет удовлетворяться только при $\rho_d = 1,68$ г/см³.

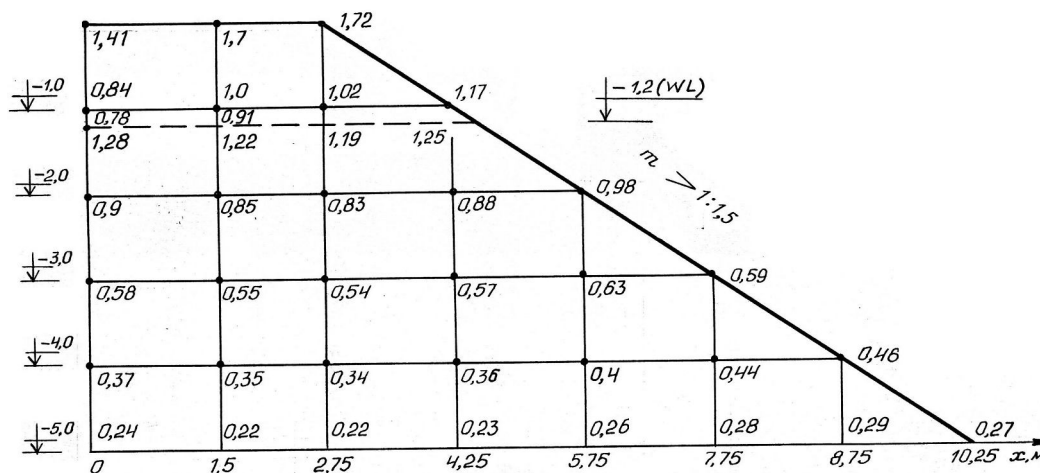


Рис. 4. Расчетные значения ускорений, м/с², колебаний обводненной насыпи

Нетрудно заметить, что насыпь может считаться устойчивой при $\rho_d \geq 1,66$ г/см³. Но такая плотность грунта необходима примерно до глубины 2...2,5 м. Ниже этой глубины ускорения колебаний в насыпи будут уменьшенными, поэтому плотность грунтов здесь из условия устойчивости по критическим ускорениям может задаваться ниже, чем в верхней части насыпи.

Таким образом, используя графики зависимости критических ускорений колебаний от плотности сухого грунта и определяя возникающие ускорения в насыпи при соответствующей скорости движения поезда, можно оценить устойчивость насыпи [4] и установить требуемую плотность грунта по ее высоте. Нет необходимости доводить плотность грунтов насыпи до одинаковой величины по всей глубине. Это, естественно, приведет к меньшим трудозатратам.

Выполненные исследования позволяют при проектировании или эксплуатации прогнозировать устойчивость обводненных железнодорожных насыпей из пылеватого и мелкозернистого песка. Особенно важна оценка динамической устойчивости откосов насыпи, для которых соотношение главных напряжений близко к предельному, а плотность сложения песка, как правило, ниже, чем в средней части насыпи.

Литература

1. Маслов Н.Н. Условие устойчивости водонасыщенных песков. М.; Л., 1959. 328 с.
2. Лобанов И.З., Раткевич М.Г. Напряженное состояние дорожных насыпей от собственного веса // Изв. вузов. Стр-во и архит. 1982. № 9. С. 20–24.
3. Смолин Ю.П. Напряжения в земляном полотне от поездной нагрузки // Изв. вузов. Стр-во. 1997. № 7. С. 98–101.
4. Смолин Ю.П., Дербенцев А.С. Исследование влияния подвижного состава на колебания песчаных железнодорожных насыпей на болотах // Инженерно-геологические условия, основания и фундаменты транспортных сооружений в Сибири. Новосибирск, 1989. С. 48–53.