

630^{к3}

Б73

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
Б С С Р
БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ.С.М.КИРОВА

На правах рукописи

БОГДАНОВИЧ Тамара Казимировна

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАДКИ
ВОДОНАСЫЩЕННЫХ СЛАБЫХ ОСНОВАНИЙ НАСЫПЕЙ ЛЕСОВОЗНЫХ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Специальность 05.21.01. Технология и механизация
лесного хозяйства и лесозаготовок

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Минск 1978

Работа выполнена в Белорусском технологическом институте
им.С.М.Кирова на кафедре сухопутного транспорта леса и
дорожных машин

Научный руководитель – И.И.Леонovich, доктор технических
наук, профессор.

Официальные оппоненты – Ю.А.Соболевский, доктор техни-
ческих наук, профессор

Г.Ф.Грехов, кандидат технических
наук, доцент.

Ведущая организация – Центральный научно-исследователь-
ский институт механизации и энер-
гетики лесной промышленности
(ЦНИИМЭ).

Защита состоится *17 января* 1979 г. в *10⁰⁰* часов
на заседании специализированного совета 0.56.01.01 по при-
суждению ученой степени кандидата наук в Белорусском техно-
логическом институте им.С.М.Кирова

Адрес: 220630, Минск, ул.Свердлова, 13а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорус-
ского технологического института им.С.М.Кирова

Автореферат разослан *15 декабря* 1978 г.

Ученый секретарь специализированного совета –
И.Э.Рихтер, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.

630*3
Б73

ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Осуществление решений партии и правительства по дальнейшему совершенствованию структуры производства, комплексному использованию древесины, а также по улучшению условий труда и дальнейшей механизации трудоемких работ на лесозаготовках требует сооружения разветвленной сети лесовозных автомобильных дорог со снижением стоимости строительства, повышением качества и надежности их.

Вместе с тем высокая заболоченность лесов создает многогранную проблему - сооружения лесовозных автомобильных дорог на слабых основаниях. Эта проблема включает ряд специальных вопросов, важнейшим из которых является прогноз осадки во времени.

Актуальность проблемы прогноза осадки диктуется требованием обеспечения стабильности земляного полотна в период эксплуатации, которое включает условие окончания интенсивной осадки до сооружения покрытия. Выполнение этого требования невозможно без надежного и доступного для практического пользования метода расчета осадки во времени.

В настоящее время имеются рекомендации почти по всем вопросам, касающимся сооружения земляного полотна на слабых грунтах, но тем не менее многие рекомендации нуждаются в дополнении и уточнении, а сложность творческих расчетных схем заставляет искать инженерные методы, позволяющие практически определять срок затухания основной части осадки.

Цель и задачи исследований. Отличительной особенностью слабых грунтов является большая сжимаемость и низкая несущая способность, что создает значительные трудности при строительстве дорожных конструкций и намного удорожает строительство. Снижение стоимости дорожных конструкций на переходах через болота может быть достигнуто за счет более широкого использования слабых грунтов в основании и отказа от выторфовывания. Высокие эксплуатационные качества

5130ар

БИБЛИОТЕКА БТИ
им. С. М. Кирова

дорог на слабых основаниях обеспечиваются соответствующим выбором конструкции земляного полотна и технологии его сооружения.

Выбор той или иной конструкции земляного полотна во многом зависит от величины осадки основания и хода ее во времени. Получить практический метод прогнозирования длительности осадки можно с помощью моделирования, которое позволяет экспериментально определять выжатый объем воды из-под насыпи и по нему рассчитывать осадку во времени. Этот метод дает возможность учесть многие факторы, влияющие на процесс осадки и позволяет перейти от одномерной к двумерной задаче, лучше отражающей реальный процесс.

Применение моделирования для изучения процесса осадки обусловило необходимость постановки специальных экспериментов и определило следующие задачи исследования:

1. Экспериментально методом ЭГДА исследовать напряженное состояние основания земляного полотна для условий плоской задачи от равномерной нагрузки насыпи.

2. Разработать практический метод расчета осадки во времени с учетом напряженного состояния основания земляного полотна, физико-механических свойств залежи, параметров насыпи и установить влияние перечисленных факторов на консолидацию основания.

3. Проверить достоверность предлагаемого метода в условиях опытного строительства.

4. Рекомендовать для практического пользования прогноз длительности осадки торфяных оснований с расчетными коэффициентами фильтрации и принятыми для лесовозных автомобильных дорог параметрами насыпей.

5. Дать рекомендации по регулированию длительности осадки основания земляного полотна. Разработать методику моделирования скорости осадки насыпей с временной пригрузкой и установить оптимальную область применения временной пригрузки.

Основные результаты, их научная новизна и практическая ценность.

1. Разработан практический метод прогноза хода осадки слабых оснований насыпей лесовозных автомобильных дорог с использованием моделирования

2. Исследовано напряженное состояние основания земляного полотна от действия насыпей с различной удельной нагрузкой в результате чего построены графики для определения напряжений в любой точке слабой залежи.

3. Установлен характер воздействия параметров насыпи, мощности залежи, водопроницаемости толщи на процесс консолидации и даны рекомендации по регулированию длительности осадки слабых оснований насыпей лесовозных автомобильных дорог.

4. Дан прогноз длительности осадки торфяных оснований с различной толщиной слабой залежи и типовыми параметрами насыпей автомобильных лесовозных дорог. Разработан графический способ определения скорости осадки торфяных оснований насыпей с помощью номограммы.

5. Разработана методика моделирования скорости осадки насыпей с временной пригрузкой и установлена оптимальная область применения пригрузочного слоя.

Реализация работы в промышленности. Результаты работы использованы при издании "Пособия по расчету земляного полотна автомобильных лесовозных дорог на слабых основаниях", одобренного научно-техническим советом Министерства лесной и деревообрабатывающей промышленности БССР. Рекомендации, изложенные в пособии, используются при проектировании лесовозных автомобильных дорог на предприятиях Минлеспрома БССР.

При строительстве лесовозной автомобильной дороги в Витебском ЛПХ экономический эффект от использованных рекомендаций составил 2,69 тыс.руб. на I км дороги.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на Всесоюзной научной конференции "Проектирование, строительство и эксплуатация

лесовозных дорог", на симпозиуме "Сооружение земляного полотна на автомобильных дорог на слабых грунтах" в Союздорнии, на втором Всесоюзном совещании "Сооружение земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах" в Балдорнии, на У научно-технической конференции в ЦНИИМЭ, на республиканской научно-технической конференции по современным проблемам сухопутного транспорта леса, на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава БТИ им. С.М.Кирова.

П у б л и к а ц и и. По теме диссертационной работы опубликовано 10 работ.

О б ъ е м р а б о т ы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, приложения. Изложена вместе с приложением на 183 страницах машинописного текста, содержит 46 рисунков, 66 таблиц.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО ОСВОЕНИЯ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ

Проблема транспортного освоения заболоченных лесных массивов является одной из важнейших при выполнении народнохозяйственного плана по заготовке древесины.

Сооружение лесовозных автомобильных дорог на слабых грунтах включает в себя комплекс вопросов, касающихся изучения состава и состояния грунта, условий его залегания, технологических особенностей возведения земляного полотна, методов прогнозирования величины осадки и хода её во времени и ряд других вопросов.

Строительство дорог на слабых грунтах — проблема, которая с давних пор привлекала внимание ученых своей актуальностью и нерешенностью многих вопросов.

Изучение торфяных залежей в качестве основания дорог в нашей стране началось еще в 30-е годы. Известны работы А.А.Арсеньева, В.Ф.Бабкова, Н.Н.Иванова, Н.П.Кузнецовой по определению несущей способности торфа и расчету осадки земляного полотна на них.

Значительный вклад в исследование торфяных оснований и водно-физических свойств слабых грунтов внесли Л.С.Амарян,

М.П.Воларович, В.В.Романов, Н.В.Чураев и другие.

Большая заслуга в развитии механики торфяных оснований принадлежит ученым Ф.П.Винокурову, П.А.Дрозду, Ю.А.Соболеву-кому, К.П.Лундину.

Инженерно-геологические изыскания, теория расчета земляного полотна, конструкции на переходах через болото, технология и организация строительства – вот тот далеко не полный перечень вопросов, которыми занимаются в настоящее время И.Е.Евгеньев и В.Д.Казарновский со своими учениками.

Вопросы, связанные с сооружением лесовозных автомобильных дорог через болота, нашли отражение в работах ученых Ленинградской лесотехнической академии им.С.М.Кирова А.А.Софьиной, Архангельского лесотехнического института Н.Ф.Бондаренко, Н.П.Коваленко, А.А.Ткаченко, В.В.Щелкунова и Гипролестранса М.А.Шапошникова.

Процесс уплотнения торфяных грунтов протекает в течение длительного времени. Причем, в процессе уплотнения непрерывно изменяются свойства торфа. В таких условиях чрезвычайно важно знать характер протекания процесса во времени и иметь практические способы его прогнозирования.

В настоящее время расчет длительности осадки ведется по трем направлениям: фильтрационная консолидация, реологическое моделирование и эмпирические методы. Однако единого мнения относительно расчетной модели уплотнения торфяного основания до настоящего времени нет.

В практике при расчете консолидации торфяных грунтов наиболее широкое применение получила одномерная схема фильтрационной консолидации. Вместе с тем имеется много примеров несоответствия данных прогноза по схеме одномерного уплотнения с фактическими данными. Фактической картине уплотнения оснований автомобильных лесовозных дорог более строго отвечает плоская задача. Но решение плоской задачи уплотнения слабых грунтов во времени представляет достаточные трудности при составлении и решении дифференциальных уравнений.

В этом случае целесообразнее воспользоваться разработанным методом расчета осадки во времени, который позволяет перейти от одномерной к двумерной задаче.

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ОСАДКИ ВОДО-
НАСЫЩЕННОГО ОСНОВАНИЯ НАСЫПИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В настоящее время для расчета напряжений и деформаций в минеральных грунтах широко применяются методы теории упругости. Болотные грунты резко отличаются от минеральных очень рыхлым сложением и большой деформируемостью под нагрузкой. Однако несмотря на существенные отличия болотных отложений, основные закономерности механики грунтов применимы и для них.

В определенном диапазоне нагрузок, достаточном для практических расчетов, принцип линейной деформируемости применим к болотным грунтам в той же мере, как и к минеральным. В связи с этим при определении напряжений в водонасыщенном основании была выбрана расчетная модель линейно-деформируемой среды.

В таком случае напряжения в скелете грунта удовлетворяют уравнениям теории упругости, которые для случая плоской задачи могут быть представлены в виде:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\nabla^2(\sigma_x + \sigma_z) = \nabla^2 \Sigma = 0, \quad (2)$$

где ∇^2 - оператор Лапласа.

Решение уравнения Лапласа было реализовано математическим моделированием с помощью универсального интегратора типа ЭГДА-9/60, который служит для решения двумерных и осесимметричных краевых задач, описываемых уравнением эллиптического типа:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[A_1(x, y) \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_2(x, y) \frac{\partial u}{\partial y} \right] = 0, \quad (3)$$

которое, в частности, при $A_1(x, y) = A_2(x, y) = const$ переходит в уравнение Лапласа

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0 \quad (4)$$

За основу этого метода был взят принцип электроаналогий и использовано теоретическое решение проф. В.А. Флорина для слу-

чая произвольной вертикальной нагрузки, распределенной нормально к поверхности основания.

Картина распределения напряжений в основании земляного полотна, полученная моделированием, была использована при исследовании интенсивности осадки (рис. I).

В целях разработки практического метода расчета осадки основания во времени с учетом напряженного состояния основания земляного полотна нами рассмотрена плоская задача консолидации с использованием гидроэлектрических аналогий в постановке Г.И.Покровского.

Применение метода ЭГДА к указанной задаче потребовало разработки методики исследований, которая затрагивает ряд специальных вопросов. К числу таких вопросов относятся выбор материала модели, способ схематизации поставленной задачи, разработка электрической схемы модели и способов моделирования искомых величин, измерение расходов и определение потенциалов в различных точках модели, осуществление геометрического подобия и подобия граничных условий и ряд других вопросов.

Теоретическое определение скорости осадки основания земляного полотна с использованием метода ЭГДА включает в себя определение общего расхода воды, выжимаемого весом насыпи, и расчет по данным общего расхода воды, скорости осадки основания земляного полотна.

Используя аналогию между законом Дарси и законом Ома, искомый расход воды рационально определять, проводя опыты, не с грунтом, из которого выжимается вода, а с электропроводной средой, имеющей электропроводность, соответствующую коэффициенту фильтрации грунта исследуемого основания. Через эту среду пропускали ток через особые шины, имитирующие распределение напряжений под земляным полотном (рис. I), подав на них от источника тока различные потенциалы, получали движение электрического тока от шин с большим потенциалом к шинам с меньшим потенциалом по соответствующим силовым линиям.

Расход воды в случае плоской задачи определяли для модели, представляющей собой призму из грунта с таким коэффициентом фильтрации и размерами, чтобы общий фильтрационный расход воды при заданном напоре на погонную единицу был одинаков

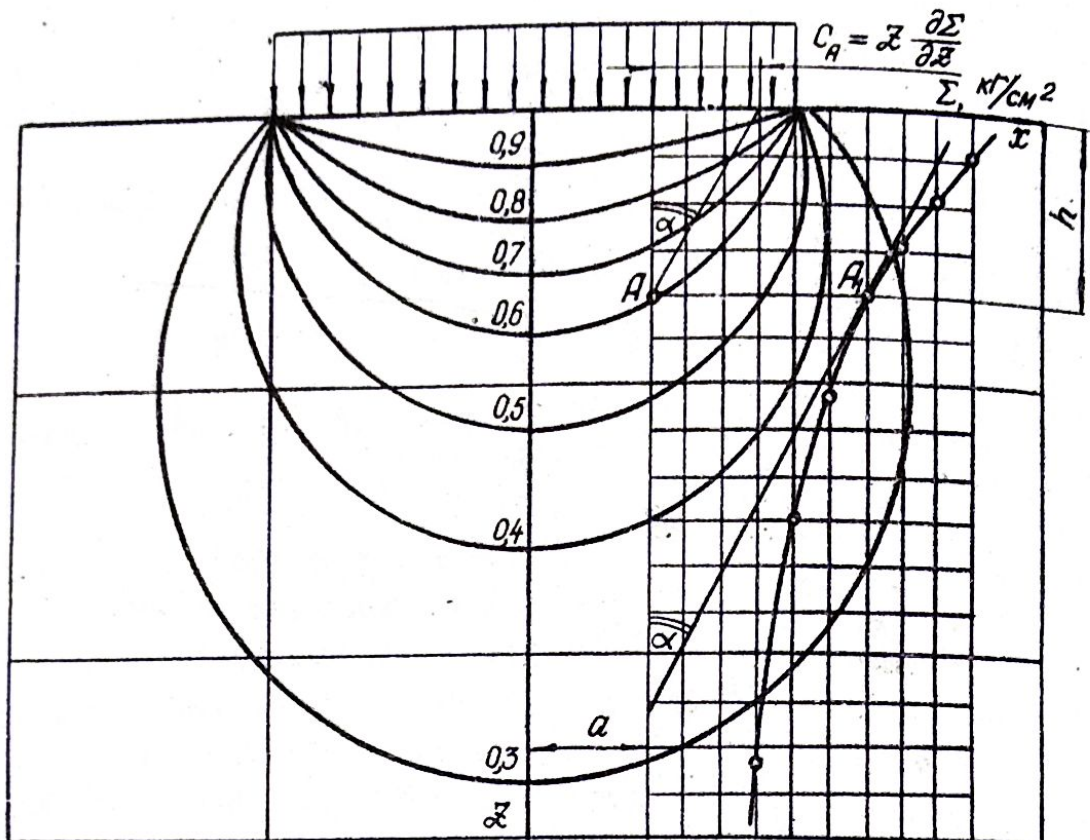


Рис. I. Определение напряжений в основании насыпи.

Представленные кривые являются суммой равных нормальных напряжений от веса насыпи. Нагрузка на основание - $0,44 \text{ кг/см}^2$. При помощи графического построения, показанного на чертеже, и формул (5) находятся составляющие сумму напряжений σ_x , σ_z , τ_{xz}

$$\sigma_x = \frac{1}{2} \Sigma + \frac{1}{2} z \frac{\partial \Sigma}{\partial z} ;$$

$$\sigma_z = \frac{1}{2} \Sigma + \frac{1}{2} z \frac{\partial \Sigma}{\partial z} ; \quad (5)$$

$$\tau_{xz} = -\frac{1}{2} z \frac{\partial \Sigma}{\partial z} .$$

как для этой призмы, так и для сооружения в натуре.

При замене грунта электропроводной средой эквивалентную призму заменяли соответствующим призматическим стандартом в виде двух параллельных шин, создающих однородное силовое поле, сопротивление которого было бы эквивалентно сопротивлению проводника с размерами сооружения в натуре.

Для отыскания величины расхода выжимаемой воды в какой-либо зоне модели основания необходимо знать силу тока, питающего данную шину, а также силу тока в призматическом стандарте.

На основании найденного расхода воды из слоя грунта определяется скорость осадки основания, состоящего из нескольких слоев с учетом масштаба модели по формуле:

$$V = \frac{U_0 P_1 K \theta_0}{U_1 \ell_0 i_0 m} \sum_1^n \frac{i_i}{b_i}, \quad (6)$$

где U_0 — напряжение в стандарте; P_1 — удельное давление насыпи на основание; K — коэффициент фильтрации; θ_0 — длина шины стандарта; U_1 — напряжение в первой шине; ℓ_0 — длина пути фильтрации в стандарте; m — масштаб модели; i_i — сила тока в криволинейных шинах; b_i — длина криволинейных шин.

Чтобы судить об уплотнении основания во времени, полученная скорость осадки вводится в зависимость (7), выражающую осадку основания во времени

$$S_t = S_{max} \left[1 - \exp\left(-\frac{Vt}{S_{max}}\right) \right], \quad (7)$$

где S_{max} — максимальная стабилизированная осадка; V — скорость осадки, полученная моделированием; t — время.

Проверка этой зависимости в лабораторных условиях показала хорошее совпадение расчетных и фактических данных.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ОСАДКИ ОСНОВАНИЯ НАСЫПЕЙ

Цель экспериментальных испытаний состояла в том, чтобы проверить достоверность предлагаемого метода расчета в условиях опытного строительства для насыпей, возведенных на выторфованном водонасыщенном основании и для насыпей, возведенных на торфяном основании I типа.

На строящейся автомобильной дороге, земляное полотно которой было возведено на выторфованном водонасыщенном основании, была осуществлена постановка наблюдений за ходом осадки насыпи.

В целях определения степени точности результатов расчета интенсивности осадки по предлагаемому методу была найдена корреляционная зависимость. Для установления корреляционной зависимости использован метод наименьших квадратов. Данные по обработке опытов вводились в 16 различных зависимостей и рассчитывались на ЭВМ Минск-22 с целью выбора оптимального варианта. Лучшей для обработки наших результатов оказалась зависимость $y = a(1 - e^{-kx})$. Вычисленное корреляционное отношение приближается к единице.

Параллельно велись исследования осадки во времени в лаборатории с использованием интегратора.

Экспериментально, используя нулевую гипотезу, было установлено, что на глубине активного сжатия основание земляного полотна опытного участка состояло из водонасыщенной супеси однородного состава, поэтому при изготовлении модели коэффициент электропроводности бумаги выбирался произвольно.

Модель для исследования напряженного состояния была изготовлена с соблюдением условий подобия. Геометрическое подобие осуществлялось соответствующим выбором масштаба, который лимитируется техническими возможностями изготовления модели и удобством производства опытов. Наиболее удобным оказался в данном случае масштаб 1:200.

Граничные условия соблюдались следующие:

1) при $\bar{x} = 0$, т.е. по краю полуплоскости водонасыщенного основания имеет место зависимость:

$$(\sigma_x)_{\bar{x}=0} = (\sigma_z)_{\bar{x}=0} = f(x) \quad (8)$$

поэтому функция Σ (сумма нормальных напряжений) при этих условиях принимает значения, равные

$$\Sigma_{\bar{x}=0} = (\sigma_x)_{\bar{x}=0} + (\sigma_z)_{\bar{x}=0} = 2f(x) \quad (9)$$

2) при неограниченном удалении от участков загрузки функция Σ и ее производные обращаются в нуль.

При моделировании общая конструктивная схема земляного полотна была заменена расчетной, т.е. трапециевидальное сечение насыпи заменялось равновеликим по площади прямоугольником, имеющим высоту, равную высоте насыпи.

После проверки и реализации граничных условий были построены эквипотенциальные линии, значения электрических потенциалов φ на которых были с помощью зависимости

$$\Sigma = \Sigma_{min} + (\Sigma_{max} - \Sigma_{min})\varphi \quad (10)$$

переведены в значения сумм нормальных напряжений. Значения составляющих сумм нормальных напряжений σ_z , σ_x и τ_{xz} были найдены на модели путем несложного графического построения (рис. I).

На полученные линии сумм нормальных напряжений на глубину активного сжатия наклеивали криволинейные шины из медной фольги и шины призматического стандарта.

Глубину активного сжатия находили также с помощью моделирования. Пропустив через модель ток, измеряли напряжение и силу тока в шинах модели и находили все константы, необходимые для определения скорости осадки.

Сравнение расчетных данных с фактическим ходом осадки показало, что ошибка не превышает $\pm 8\%$, что вполне допустимо для практики.

Сравнение результатов моделирования с фактическим ходом осадки для торфяных оснований было проведено по данным БелНИИМиВХ. Торфяные массивы опытных участков были сложены из торфов с различными коэффициентами фильтрации. При моделировании было проведено осреднение коэффициентов фильтрации по методике Н.А.Цытовича:

$$K_{фм} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{h_i}{K_{фи}}} \quad (11)$$

За глубину активного сжатия принимали мощность залежи. Сопоставление фактических и расчетных данных осадки, измеренной в одинаковые календарные даты в году, показало, что ошибки в расчетах находятся в допустимых пределах ($\pm 13,3\%$).

Из анализа полученных данных установлено, что в первые 10-12 месяцев после возведения насыпи, когда преобладает про-

цесс фильтрационного уплотнения, фактическая осадка хорошо совпадает с расчетной, затем наблюдается некоторое расхождение, и опытные точки ближе подходят к кривой, построенной по теории ползучести, но это нарастание осадки во времени незначительно по величине и при эксплуатации автомобильных лесовозных дорог существенной роли играть не будет.

ПРОГНОЗ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОСАДКИ ТОРФЯНЫХ ОСНОВАНИЙ I ТИПА АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕГУЛИРОВАНИЮ СКОРОСТИ ОСАДКИ

Хорошее совпадение фактических и расчетных данных дало возможность использовать предлагаемую методику для прогноза скорости осадки для наиболее распространенных в Белоруссии низинных торфов I типа со степенью разложения до 50%.

Данный прогноз позволяет более рационально подходить к выбору типа земляного полотна в зависимости от интенсивности осадки. Осадка торфяных оснований во времени рассчитывалась с установленными расчетными коэффициентами фильтрации для насыпей с типовыми параметрами, применяемыми при строительстве лесовозных автомобильных дорог, охватывая 80 различных вариантов.

Чтобы расширить диапазон используемых коэффициентов фильтрации, была разработана номограмма (рис. 2) для определения скорости осадки, в основу которой положена формула (6).

Анализ полученных данных по расчету напряжений и прогнозу осадки во времени позволил выявить ряд зависимостей и сделать некоторые практические предложения и рекомендации.

Расчет напряжений в основании насыпей показал, что чем шире земляное полотно по низу, тем медленнее происходит затухание напряжений с глубиной.

На рис. 3а приведены эпюры распределения сжимающих напряжений по оси нагрузки для двух насыпей с шириной земляного полотна по низу 15 и 10 метров. Как видно из приведенных эпюр при одном и том же внешнем давлении напряжения по глубине значительно отличаются, завися от ширины земляного полотна. Этот вывод имеет существенное практическое значение.

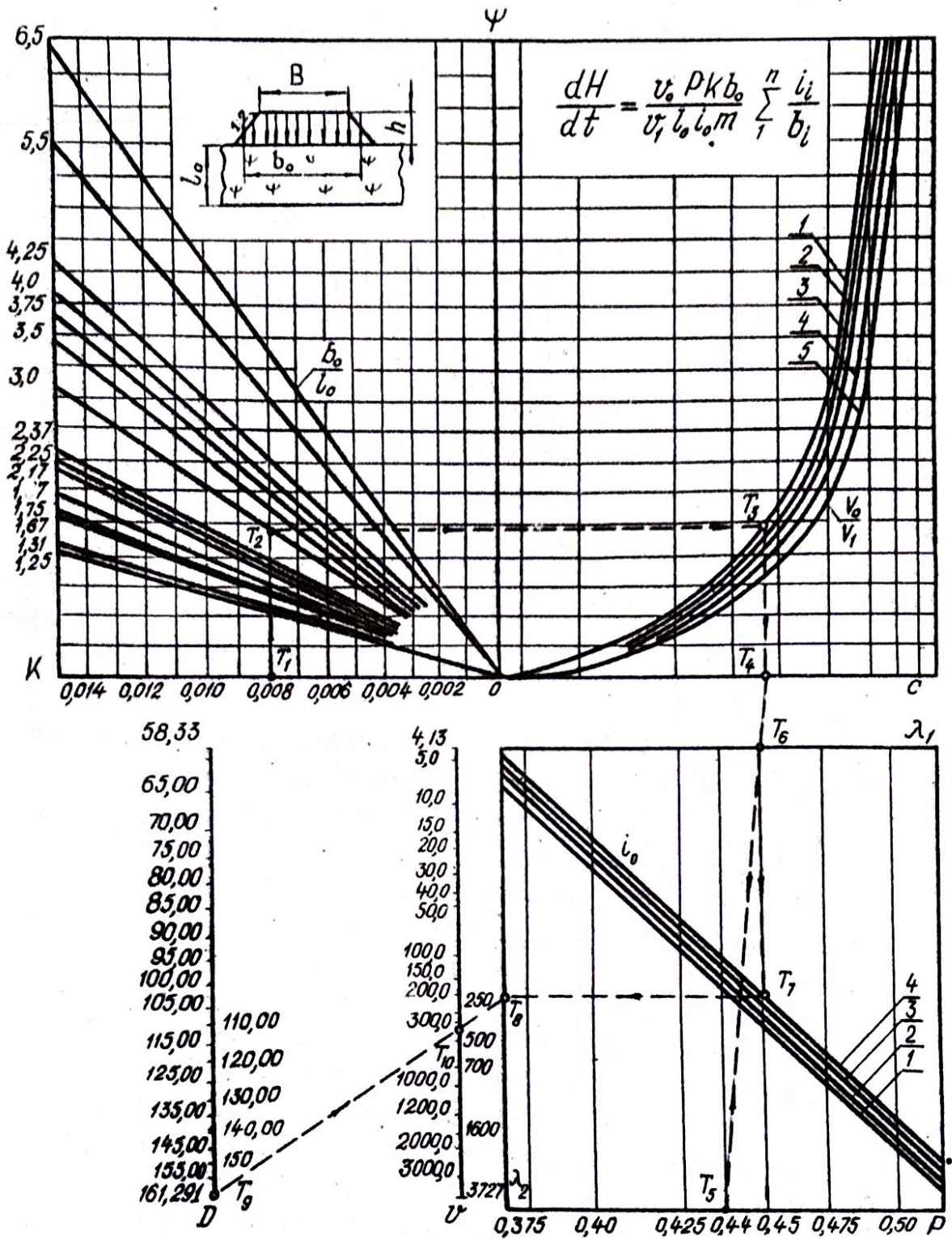


Рис. 2. Номограмма для определения скорости осадки основания насыпи

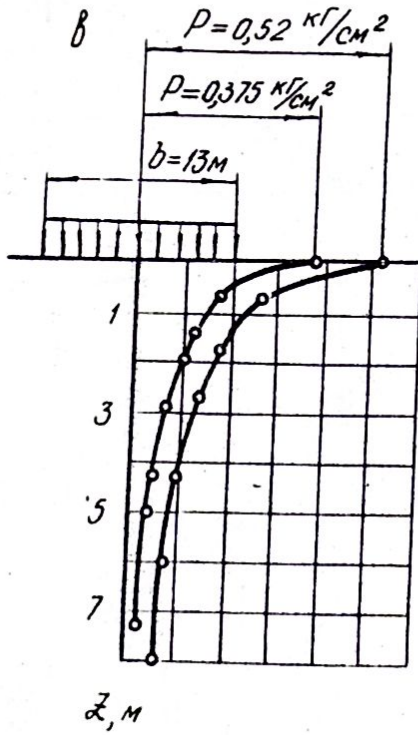
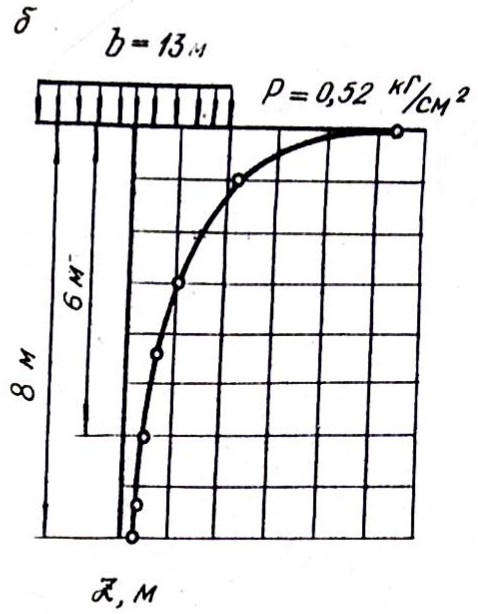
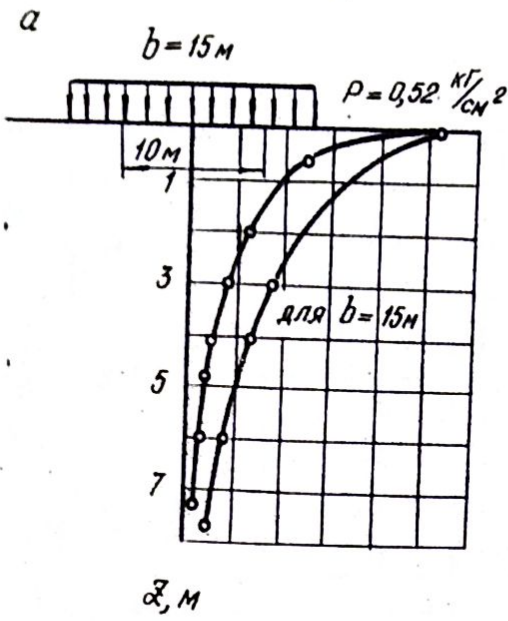


Рис. 3. Зависимость распределения сжимающих напряжений по глубине от:

- а - ширины насыпи
- б - мощности залежи
- в - удельного давления

В приведенном на рис.3а примере на глубине 3 м от загруженной поверхности под насыпью с шириной по низу 15 м давление равно $0,116 \text{ кг/см}^2$, а под насыпью с шириной 10 м - $0,086 \text{ кг/см}^2$. Если на этой глубине будет залегать наиболее слабый слой, то увеличение давления может превысить его несущую способность. Тогда как при меньшей площади загрузки при одном и том же удельном давлении возникающие на той же глубине напряжения не повлияют на прочность и устойчивость слоя.

Увеличение мощности залежи при одном и том же удельном давлении и ширине насыпи не оказывает никакого влияния на распределение сжимающих напряжений (рис.3б).

При увеличении расчетной нагрузки при одной и той же ширине насыпи по низу затухание напряжений происходит медленнее (рис.3в). Практически этот вывод можно использовать в том случае, если понадобится снизить давление на глубине, не изменяя площади загрузки. Это можно сделать за счет снижения высоты земляного полотна или устройства насыпей из легких материалов.

На рис.4 представлена зависимость процесса консолидации от величины коэффициента фильтрации торфа. В первый год строительства 80% консолидации имеют те торфяные основания мощностью до 4 м включительно (рис.4а), у которых коэффициент фильтрации больше $(3 - 5) \cdot 10^{-3} \text{ см/с}$. Торфяные основания, у которых коэффициент фильтрации ниже этого предела, нуждаются в специальных мероприятиях для ускорения осадки.

На рис.4б показан процесс консолидации для торфяных оснований 6 и 8 м. Как видно из рис.4, почти для всех торфяных оснований необходимы мероприятия для ускорения осадки. И только те основания, у которых коэффициент фильтрации равен $15 \cdot 10^{-3} \text{ см/с}$, приближаются к завершению осадки в первый год строительства (консолидация составляет 60-90%).

Для ускорения процесса консолидации торфяных оснований существует две практические возможности:

1. За счет оокращения пути фильтрации поровой воды.
2. За счет временного увеличения прикладываемой нагрузки.

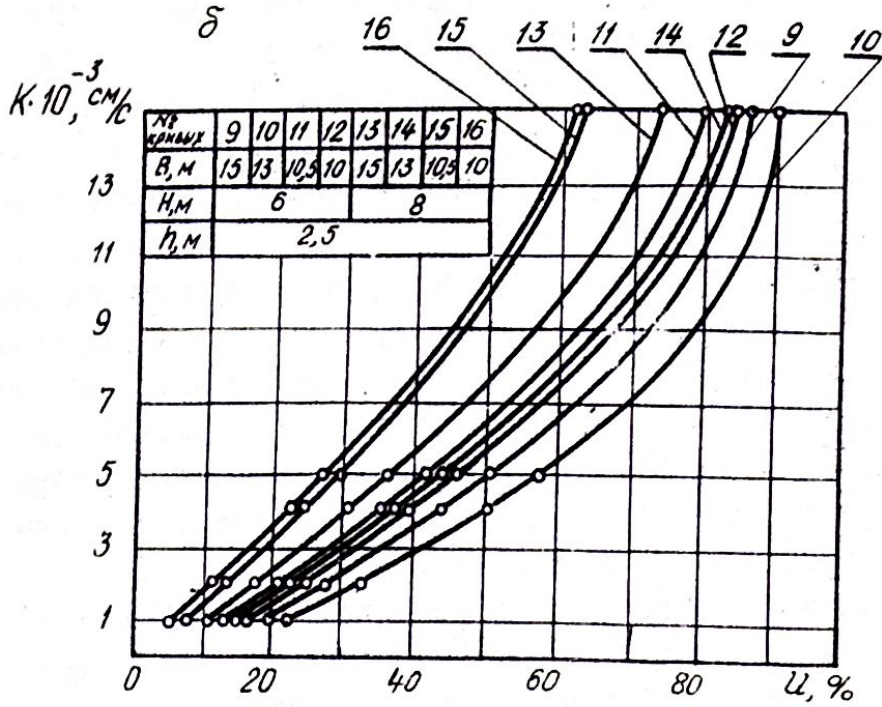
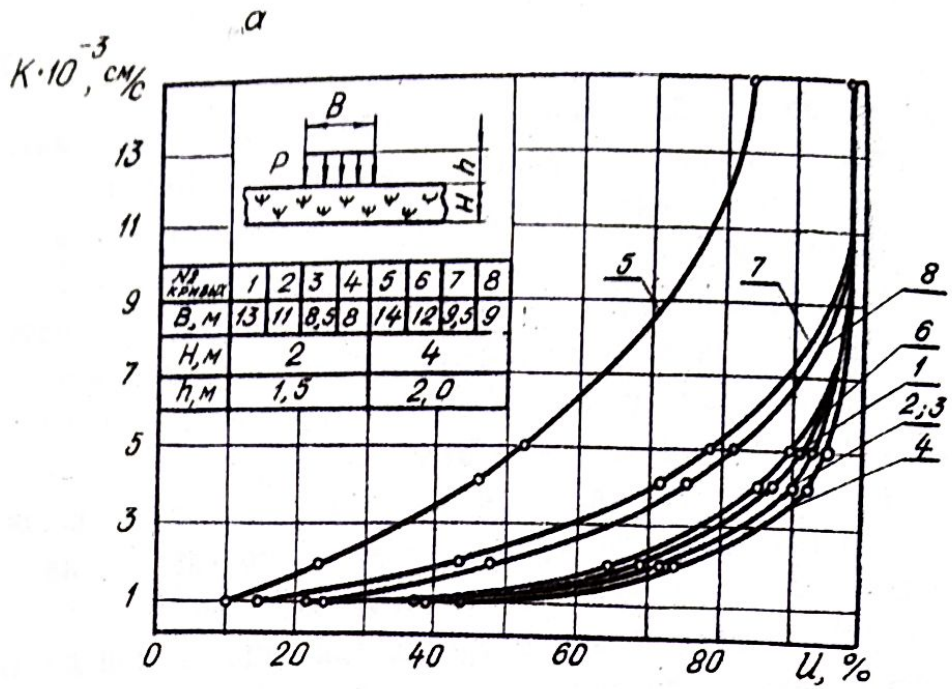


Рис.4. Продолжительность осадки насыпей на торфяной залежи с различными коэффициентами фильтрации:
 а - мощность слоя 2 и 4 м;
 б - мощность слоя 6 и 8 м

Первый путь может быть реализован с помощью конструктивных мероприятий: устройства дренажных прорезей или частичного удаления слабого грунта. Второй путь — за счет применения временной пригрузки.

Нами был произведен расчет длительности осадки оснований насыпей с временной пригрузкой с помощью моделирования. Расчет надо производить в следующем порядке:

уточнить параметры насыпи и толщину торфа основания; осуществить геометрическое подобие и подобие граничных условий модели и исследуемой области; изготовить модель для определения напряжений в основании насыпи; подключить модель к моделирующей установке и найти линии равных напряжений; из электропроводной бумаги с нанесенными линиями равных напряжений изготовить модель для определения скорости осадки; определить коэффициент фильтрации торфяного слоя; установить величину конечной осадки основания насыпи без пригрузки; определить требуемое время для завершения осадки и требуемую степень консолидации; произвести расчет скорости осадки основания насыпи с пригрузкой по формуле (6), где пригрузка учитывается величиной P_1 ; в обычных условиях по техническим соображениям толщина пригрузочного слоя практически не может быть менее 0,5 и более 1,5–2,0 м. Исходя из этого требования, определить осадку основания насыпи по формуле (7) с различными пригрузочными слоями и для требуемого времени.

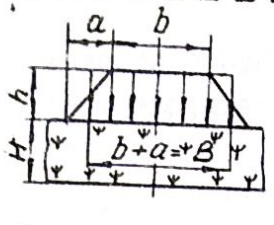
Результаты расчета консолидации торфяного основания для двух насыпей приведены в табл. I. Расчет был произведен для 64 вариантов.

Анализ полученных данных выявил, что временной пригрузкой не всегда можно достичь заданной степени консолидации и в этих случаях надо искать другие способы ускорения осадки.

Выбрать способ ускорения осадки можно с помощью технико-экономического расчета. Технико-экономический анализ показал, что при глубине торфа до 2–2,5 м по соотношению затрат более выгодной является конструкция с дренажными прорезями основания. При глубине торфа более 2,5 м выгоднее устраивать насыпь с временной пригрузкой.

Таблица I

Консолидация торфяных оснований насыпей
с временной пригрузкой

	Время до- стижения 80% консо- лидации от S_{max} без пригрузки, год	Коэффици- ент филь- рации торфяного основания, см/с	Консолидация основания в % от S_{max} в I-й год строительства в зависи- мости от пригрузки (м)			
			0,5	1,0	1,5	2,0
$B = 13 \text{ м}$ $H = 2 \text{ м}$ $h = 1,5 \text{ м}$ $P = 0,375 \text{ кГ/см}^2$	5	$0,8 \cdot 10^{-3}$	45	51	55	62
$B = 14 \text{ м}$ $H = 4 \text{ м}$ $h = 2 \text{ м}$ $P = 0,440 \text{ кГ/см}^2$	20	$0,8 \cdot 10^{-3}$	12,4	14,5	16,6	18,5
	9	$2 \cdot 10^{-3}$	28,2	32,6	36,5	40,4
	4,5	$4 \cdot 10^{-3}$	48,5	54,5	59,7	64,4
	3,5	$5 \cdot 10^{-3}$	56,3	65,0	68,0	72,5

В тех случаях, когда временная пригрузка оказывается недостаточной для ускорения осадки, можно прибегнуть к конструкции насыпи с частичным выторфовыванием основания, хотя по расчету для глубины залежи 6 м эта конструкция почти в полтора раза дороже временной пригрузки, но в то же время настолько же дешевле полного выторфовывания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили сделать ряд практических предложений по расчету и регулированию длительности осадки торфяных оснований.

I. Теоретический анализ, лабораторные и натурные исследования показали, что изучение длительности осадки слабых оснований насыпей лесовозных автомобильных дорог рационально про-

водить с помощью моделирования, в основе которого лежит математическая аналогия между движением электрического тока в электропроводной среде и фильтрацией жидкости в грунте.

2. Анализ напряженного состояния основания земляного полотна, необходимый для оценки ожидаемых деформаций, предложено производить экспериментально на электропроводной бумаге методом ЭГДА. Полученные данные о распределении напряжений использовать для нахождения глубины активного сжатия и построения модели по определению скорости осадки.

3. С помощью моделирования разработан метод прогнозирования длительности осадки водонасыщенных и слабых оснований насыпей для плоской задачи, позволяющий учитывать многие факторы, которые влияют на процесс консолидации, такие как напряженное состояние основания земляного полотна, параметры насыпи, мощность толщи, физико-механические свойства залежи.

4. Экспериментально в условиях опытного строительства получено подтверждение применимости модели электрогидродинамической аналогии для расчета длительности осадки водонасыщенных и слабых оснований I типа со степенью разложения до 50%. Наибольшее отклонение от фактических данных для водонасыщенного минерального основания составляет $\pm 8\%$, для торфяного основания - $\pm 13,3\%$.

5. Экспериментально определено влияние ширины насыпи, мощности залежи и удельного давления на распределение сжимающих напряжений по глубине. Расчеты напряжений в основании показали, что чем больше ширина насыпи, тем медленнее происходит затухание напряжений с глубиной. Увеличение мощности залежи при одном и том же удельном давлении и ширине насыпи не оказывает никакого влияния на распределение сжимающих напряжений. При увеличении удельной нагрузки при одной и той же ширине насыпи по низу затухание напряжений происходит медленнее.

6. Для практического пользования дан прогноз скорости осадки торфяных оснований с расчетными коэффициентами фильтрации и параметрами насыпей, применяемыми при строительстве

автомобильных лесовозных дорог, охватывающий 80 различных вариантов, а также разработан графический способ определения осадки во времени с помощью номограммы.

7. Экспериментально установлено, что показатель консолидации, отражающий влияние вязких свойств грунта на его уплотнение во времени, приближается к 2,0 ($n = 1,8-2,0$), что говорит о преобладании фильтрационных свойств рассматриваемых торфяных грунтов.

8. Установлена зависимость консолидации торфяного основания от ширины насыпи. Для торфяного основания мощностью до 2 м включительно увеличение ширины насыпи влечет за собой замедление процесса осадки. Для более глубоких болот с мощностью торфа 4 м и больше каждой толщине торфяного основания соответствует своя оптимальная ширина насыпи, способствующая скорейшему затуханию осадки. Оптимальной шириной насыпи по низу для оснований мощностью 6 и 8 м является 13 м. Для мощности торфяного основания 4 м оптимальная ширина насыпи - 12 м.

9. Определена зависимость процесса консолидации от водопроницаемости толщи. С увеличением коэффициента фильтрации процесс завершения осадки ускоряется. Те торфяные основания мощностью до 4 м включительно, у которых величина коэффициента фильтрации меньше $3 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}$ см/с, не дают эффекта завершения консолидации на 80% в первый год строительства и нуждаются в мероприятиях по ускорению осадки. Для мощности торфа 6 м те основания имеют 80% консолидации, у которых $K_{ф.т} = 15 \cdot 10^{-3}$ см/с и выше. Торфяные основания с коэффициентом фильтрации ниже этого предела также нуждаются в ускорении осадки. Для оснований мощностью 8 м коэффициент фильтрации, дающий эффект завершения осадки на 80% лежит выше $15 \cdot 10^{-3}$ см/с, и они все нуждаются в ускорении осадки.

10. Разработана методика для расчета длительности осадки насыпей с временной пригрузкой с помощью моделирования на установке ЭГДА-9/60, позволяющая установить оптимальную область применения временной пригрузки. Пригрузка эффективна в том случае, когда надо ускорить осадку не более чем на 2-3 года. Если же осадка длится десятки лет, а ее надо завершить за

один год и меньше, то пригрузочный слой толщиной 2 м оказывается недостаточным для завершения осадки в требуемый срок. Для этих случаев рекомендованы другие мероприятия и рассчитаны конкретные конструкции для технико-экономического сравнения.

II. Разработанные рекомендации по расчету земляного полотна на слабом основании использованы при строительстве автомобильной лесовозной дороги в Витебском ДЛХ и получен экономический эффект в размере 2,69 тыс. руб. на I км дороги.

ПЕЧАТНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Разработка теоретических основ проектирования дорог и технологических схем автомобильного лесотранспорта для условий БССР, в соавторстве с Леоновичем И.И. и др. Сб. рефератов НИР, сер. I6, №II-12, с.56 (БИ04534), 1971.

2. Разработка конструкций и методов проектирования и строительства автомобильных лесовозных дорог. В соавторстве с Леоновичем И.И. и др. Бюллетень регистрации, сер. IO, №2, с.5 (71066702), 1972.

3. Определение осадки водонасыщенного основания путем электрогидродинамического моделирования. В соавторстве с Леоновичем И.И. Сб. "Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог", Минск, 1972.

4. Применение метода электрогидродинамического моделирования при определении скорости осадки насыпи на слабых грунтах. В соавторстве с Леоновичем И.И. Тр. Совхоздорнии, вып. 65, М., 1973.

5. Расчет осадки насыпи на слабом основании. В соавторстве с Леоновичем И.И. Сб. "Основания, фундаменты и механика грунтов", вып. 2, Минск, 1973.

6. Пособие по расчету земляного полотна автомобильных лесовозных дорог на слабых основаниях. В соавторстве с Леоновичем И.И., Минск, 1973.

7. Прогнозирование осадки насыпей на слабых основаниях. В соавторстве с Леоновичем И.И. Тезисы докладов участников

у научно-технической конференции аспирантов, соискателей и молодых специалистов лесной промышленности. ЦНИИМЭ, Химки, 1975.

8. К вопросу определения глубины активного ожатия водонасыщенного основания. В соавторстве с Леоновичем И.И. Тр. Союздорнии, вып.91, М., 1976.

9. Учет длительности осадки слабых оснований при проектировании насыпей автомобильных лесовозных дорог. Сб. "Современные проблемы сухопутного транспорта леса". Минск, 1977.

10. Оценка напряженного состояния основания земляного полотна. Сб. "Современные проблемы сухопутного транспорта леса". Минск, 1977.

Результаты исследования были доложены на:

- научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Белорусского технологического института им.С.М.Кирова. Минск, 1970-1978;
- Всесоюзной научной конференции "Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог". Минск, 1972;
- симпозиуме "Сооружение земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах". Москва, 1972;
- втором Всесоюзном совещании "Сооружение земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах". Минск, 1973;
- У научно-технической конференции аспирантов, соискателей и молодых специалистов лесной промышленности. Химки, 1975;
- республиканской научно-технической Конференции "Современные проблемы сухопутного транспорта леса". Воложин, 1977.

Тамара Казимировна Богданевич

Исследование процесса осадки водонасыщенных слабых оснований насыпей автомобильных лесовозных дорог. Бесплатно.
Подписано в печать 20.II.78. АТ-20059. Формат 60x84/16.
Усл.печ.л. I, II. Уч-изд. л. I, 2. Тираж 100 экз. Зак. 813.
Отпечатано на роталпринте БТИ им.С.М.Кирова
220630. Минск, Свердлова, 13.