



Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕДОВО-МИНЕРАЛЬНЫХ МИКСТОВ КАК ПОЛОТНА ПУТИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Беляев Александр Михайлович

Научный руководитель —
д.т.н. В.С. Макаров

2021

Объект исследования



МАК с гусенично-модульным
двигателем



МАК с колесным двигателем

Условия движения



Экспериментальные исследования

Подготовка Микстов



Фрагменты определения фракционного
состава песка



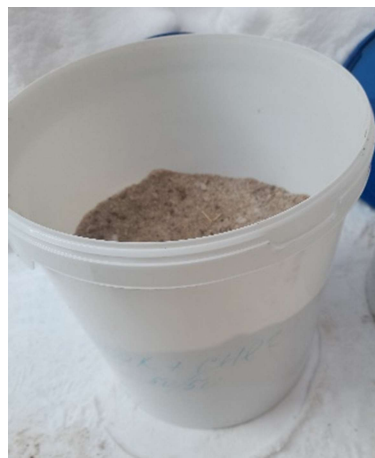
Определение плотности с
нега с помощью ВС-43

Экспериментальные исследования

Подготовка Микстов



Микст-100



Микст-50



Микст-0

Примеры емкостей с подготовленными микстами

4 части песка – «Микст-100»

3 части песка и 1 часть снега – «Микст -75»

2 части песка и 2 части снега – «Микст -50»

1 часть песка и 3 части снега – «Микст -25»

4 части снега – «Микст -0»

Экспериментальные исследования

Определение кривой «нагрузка – осадка»

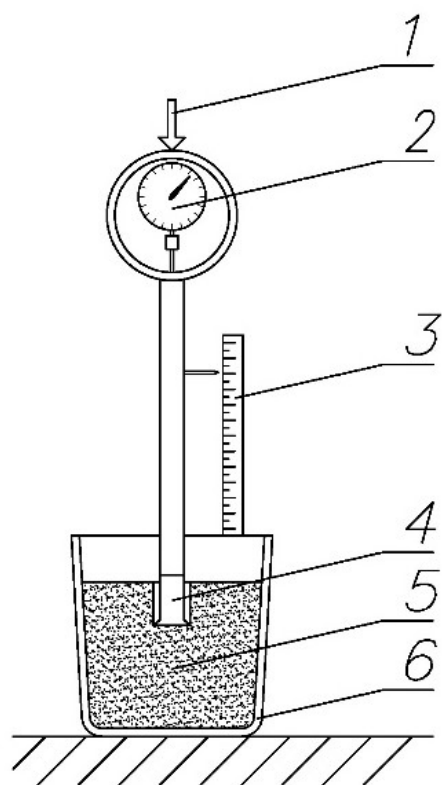
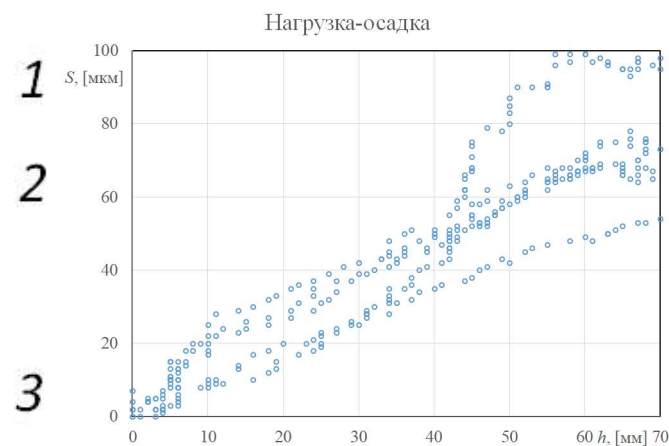
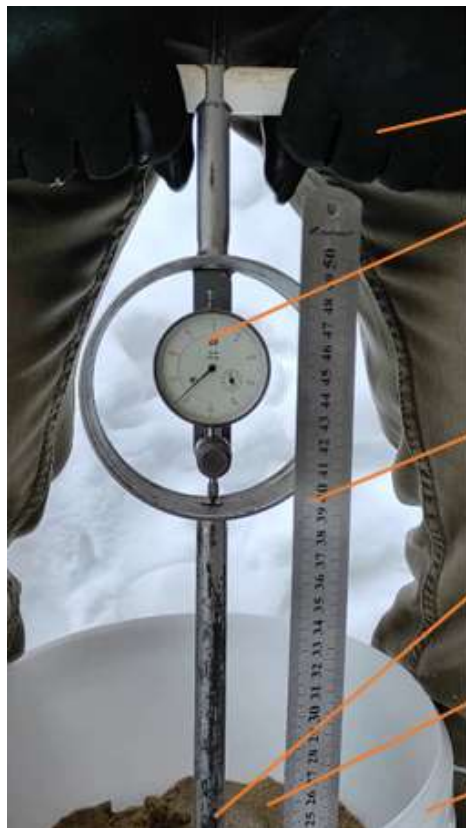


Схема проведения замера по определению
«нагрузки - осадки»



Пример полученных данных

- 1 – нагрузжатель,
2 – измеритель
нагрузки, 3- измеритель
осадки, 4 – насадка,
5 – микст, 6 – мерная
емкость

Экспериментальные исследования

Определение коэффициента сцепления



Тип микста	Коэффициента сцепления
Микст -0	0,2; 0,2; 0,2; 0,25; 0,25; 0,17; 0,23; 0,23; 0,22
Микст -25	0,22; 0,27; 0,22; 0,22; 0,21; 0,22; 0,22; 0,22; 0,25; 0,23; 0,24
Микст -50	0,21; 0,27; 0,28; 0,26; 0,22; 0,27; 0,27; 0,26; 0,27; 0,24; 0,25; 0,26
Микст -75	0,28; 0,26; 0,24; 0,28; 0,21; 0,28; 0,26; 0,26; 0,31; 0,32; 0,31; 0,36; 0,24; 0,31; 0,32
Микст -100	0,31; 0,42; 0,41; 0,41; 0,38; 0,37; 0,35; 0,41; 0,31; 0,31

Фрагменты испытаний коэффициента сцепления
с помощью ИКСп

Зависимость «Нагрузка-осадка». Миксты

Грунт $q = c h^n$ - зависимость Горячкина – Летошнева (1)

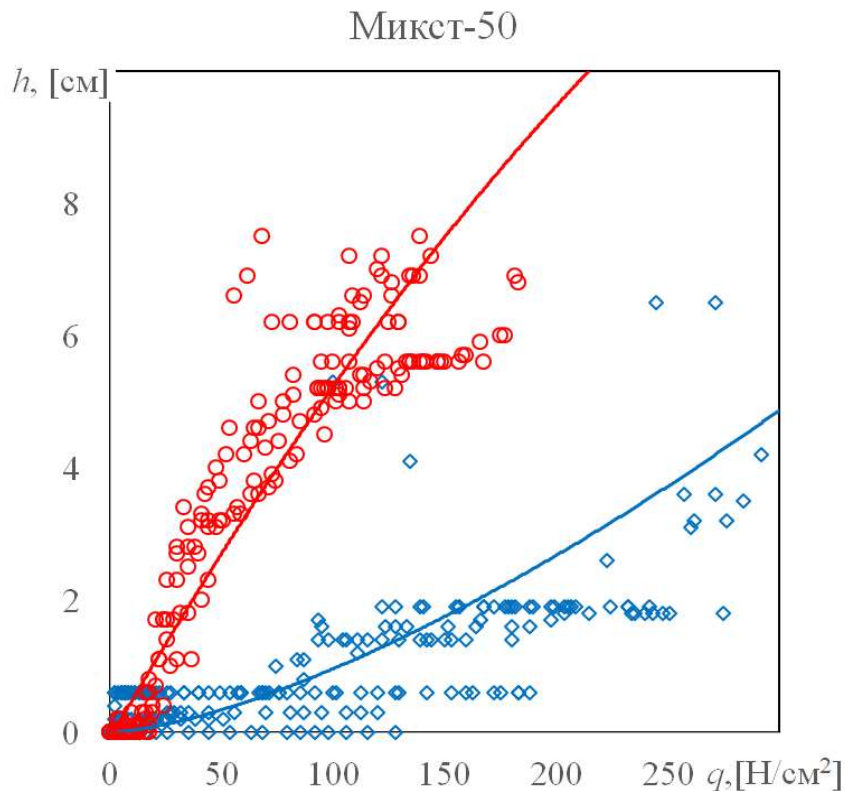
Снег $q = \gamma h [1 - h h_{max}^{-1}]^{-1}$ - формула Малыгина (2)

$q = c_1(H) h^{n_1(H)}$ - зависимость Манянина (3)

Микст $q = K_{сг} q_c(h) + K_{сг} q_{г}(h)$

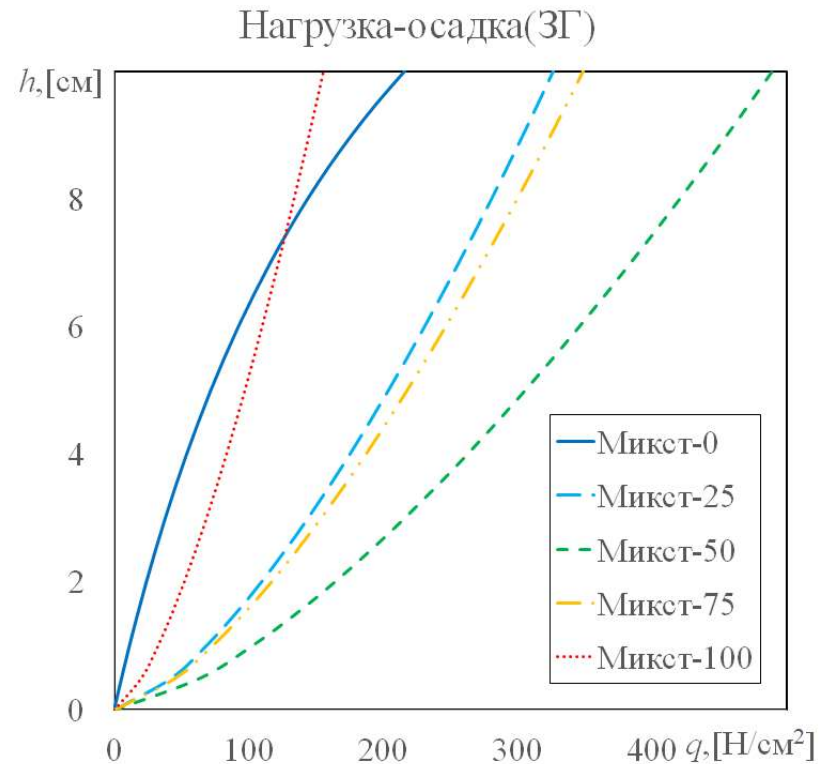
где $q_c(h)$ и $q_{г}(h)$ – зависимости (1) и (3) $K_{сг}$, $K_{сг}$ – коэффициенты учитывающие влияние снежного и грунтового компонентов, зависят от концентрации каждого из компонентов $K_{сг} = K_{сг}(C_c)$, $K_{гс} = K_{гс}(C_{г})$, $C_c + C_{г} = 1$.

Графики «Нагрузка-осадка». Миксты



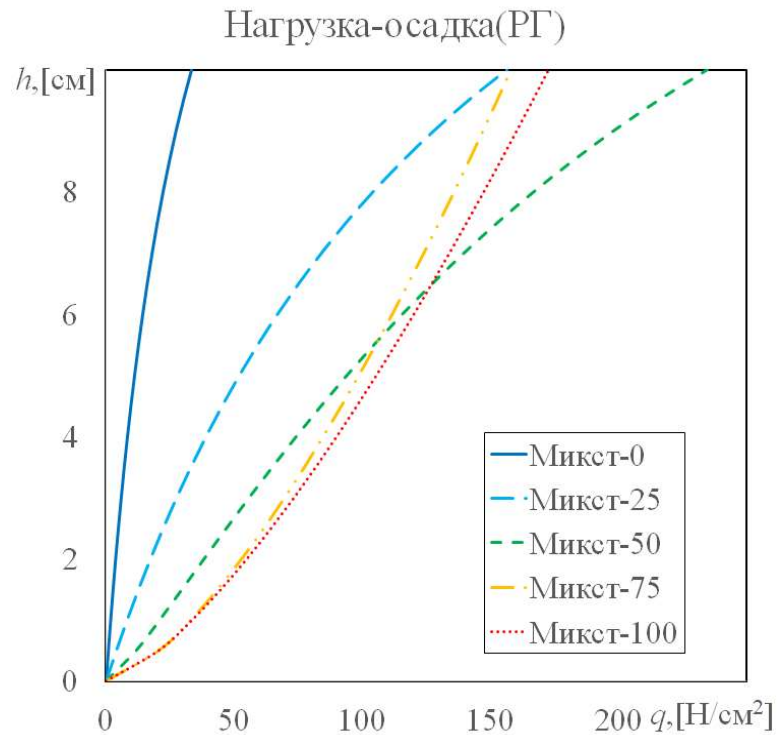
Экспериментальные данные и
аналитическая зависимость

Синими ромбиками показаны экспериментальные данные для нетронутой опорной поверхности, красными кружочками – для опорной поверхности подвергнутой деформации.

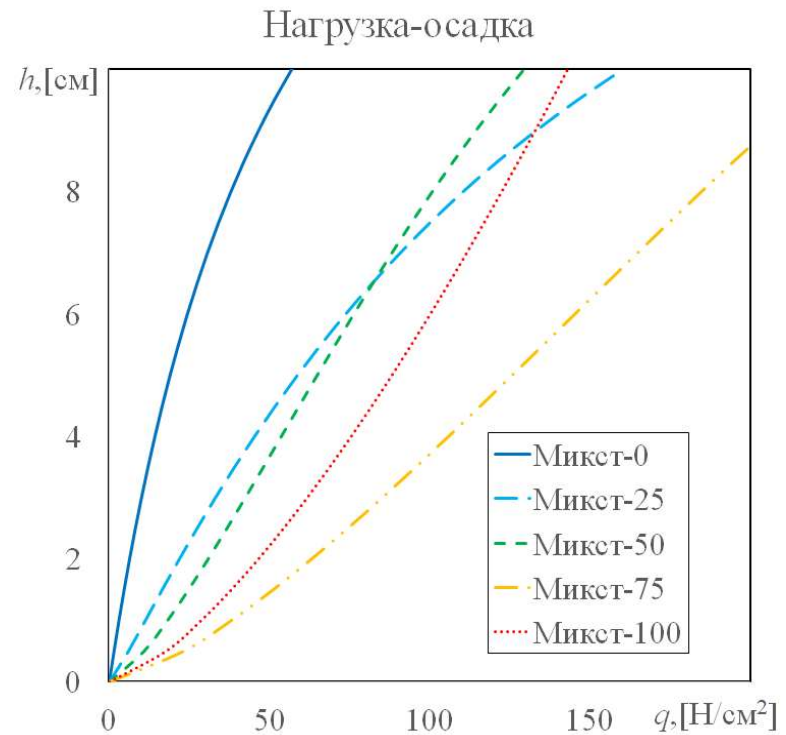


Графики для нетронутой опорной
поверхности

Графики «Нагрузка-осадка». Миксты

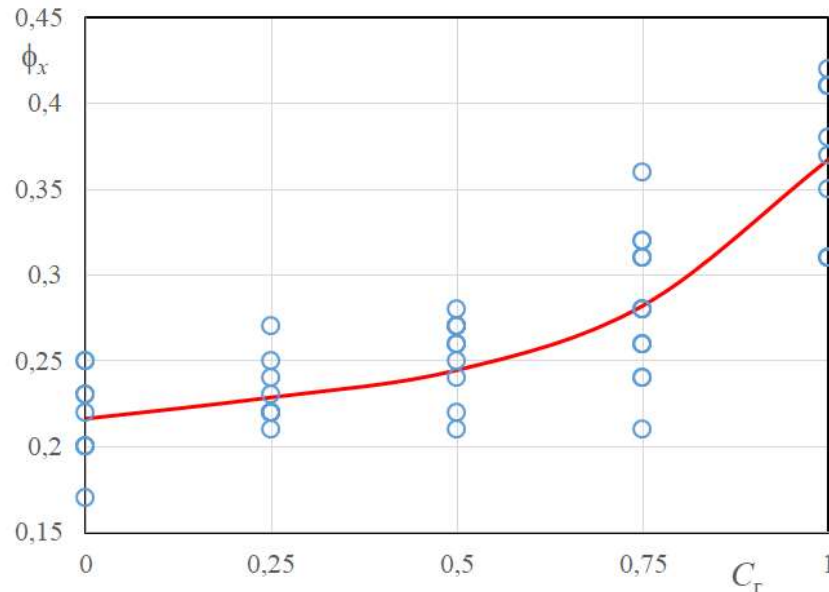


Графики для опорной поверхности
подвергнутой деформации при
температурах около -5°C



Графики для опорной поверхности и
подвергнутой деформации при
температурах (-25°C) - (-20°C)

Зависимость коэффициента сцепления. Миксты



$$\varphi_x = \sum_{i=0}^3 a_i C_\Gamma^i$$

где a_i — эмпирический коэффициент, C_Γ — параметр, характеризующий процентное содержание грунта в смеси

$$\varphi_x = 0,24 C_\Gamma^3 - 0,16 C_\Gamma^2 + 0,08 C_\Gamma + 0,22$$

Сила сопротивления движению

$$F_f = F_{f\Gamma} + F_{f\text{Э}} + F_{f\text{ДН}} + F_{f\text{кр}} + F_{fa} + F_{fw}$$

Сила сопротивления от смятия микста

$$F_f = B \left\{ K_{\text{сг}} c_1 \left[\frac{h_{\text{м}}^{n_1+1}}{n_1 + 1} \right] + K_{\text{гс}} c \left[\frac{h_{\text{м}}^{n_1+1}}{n_1 + 1} \right] \right\}$$

где $h_{\text{м}}$ - глубина погружения движителя в микст

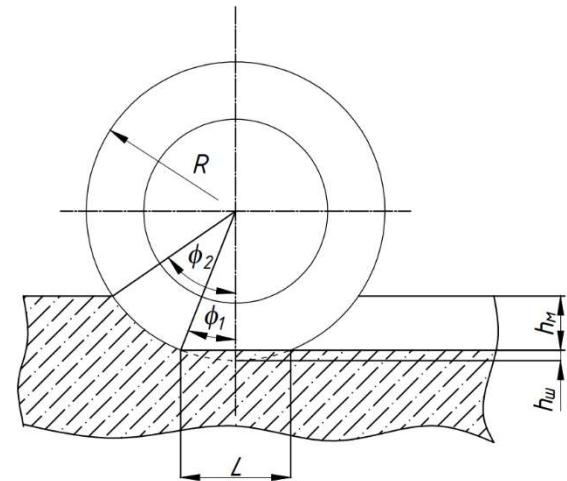
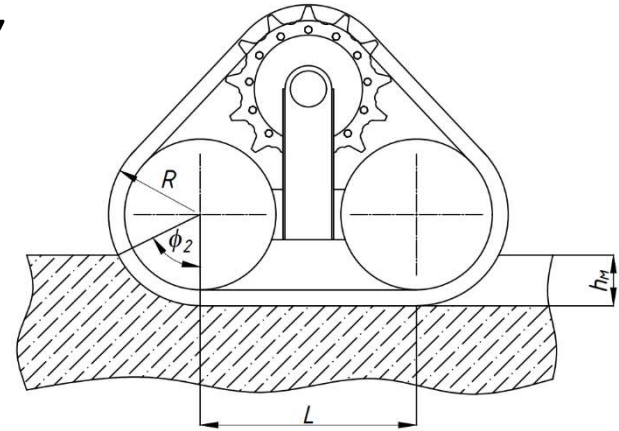
$$R_z = B\xi \left[L q(h_{\text{м}}) + B \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cos \varphi q(h_{\text{м}} - R(1 - \cos \varphi)) d\varphi \right]$$

при $\varphi_1 = \arccos((R - h_{\text{ш}})/R)$, $\varphi_2 = \arccos((R - h_{\text{м}} - h_{\text{ш}})/R)$, R_z - нагрузка на движитель, B - ширина колеса или гусеницы, L - расстояние между соседними катками для гусенично-модульного движителя или длина линии контакта шины в плоской части, $h_{\text{ш}}$ - деформация шины, для гусеницы $h_{\text{ш}} = 0$, ξ - коэффициент учета неравномерности давления

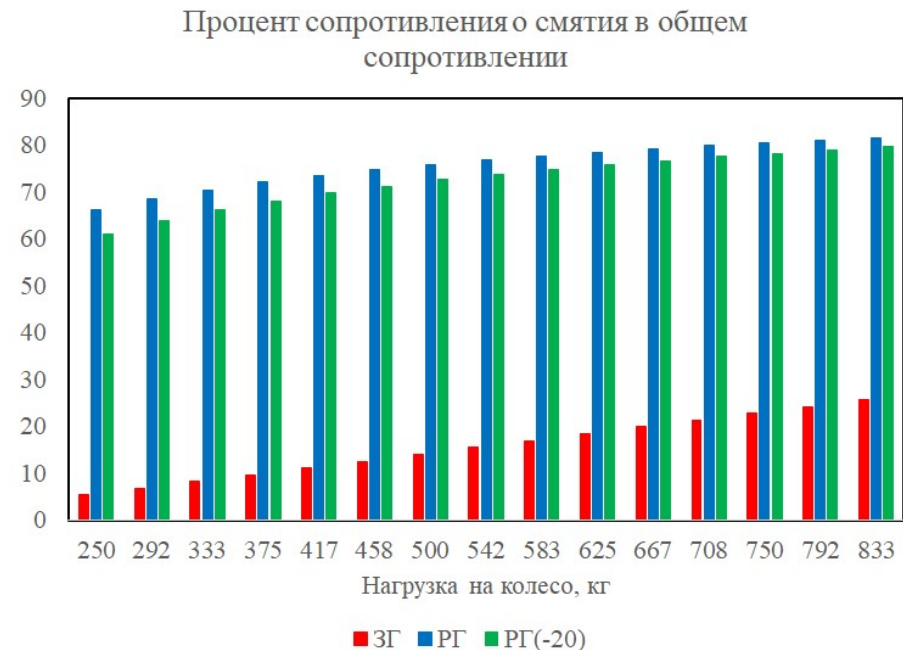
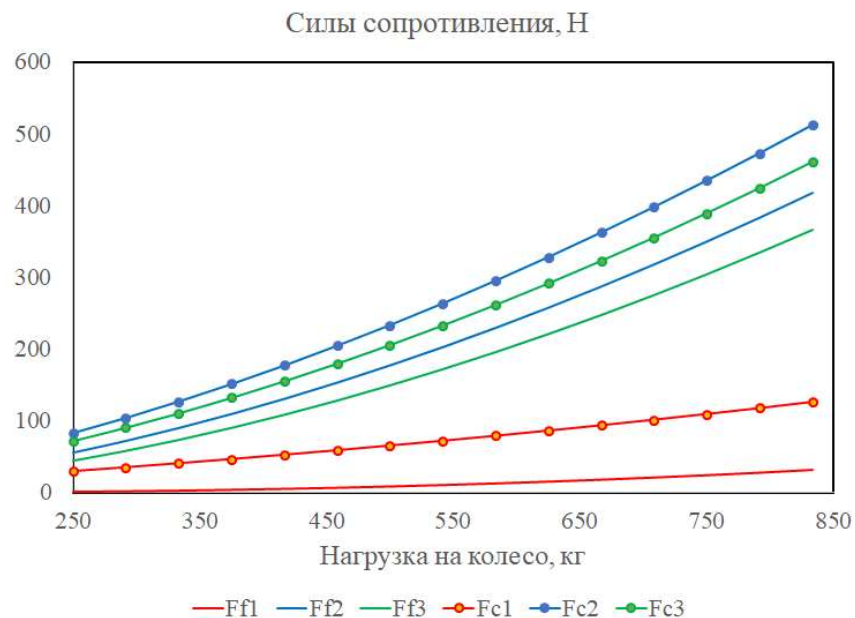
Сила сопротивления от экскавационного эффекта

$$F_{\text{Э}} = F_{\tau} S_{\text{б}}$$

где F_{τ} - сила трения движителя с полотном пути, $S_{\text{б}}$ - буксование



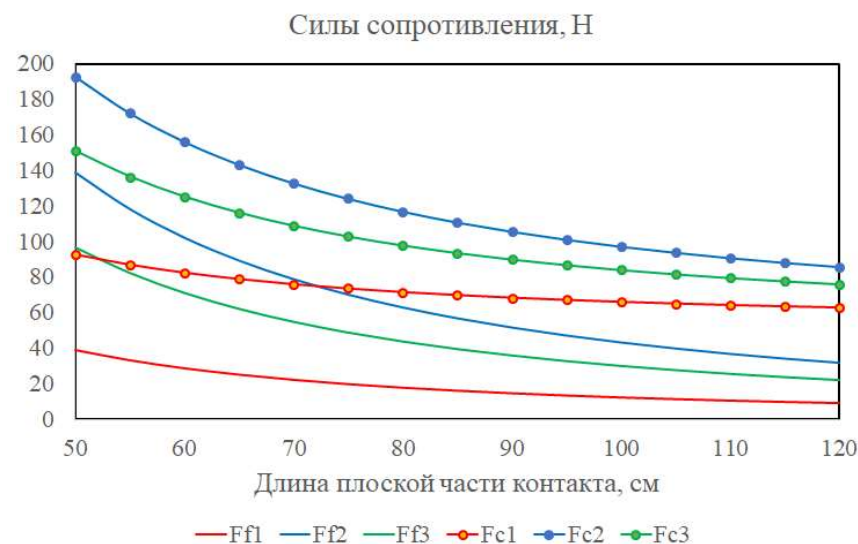
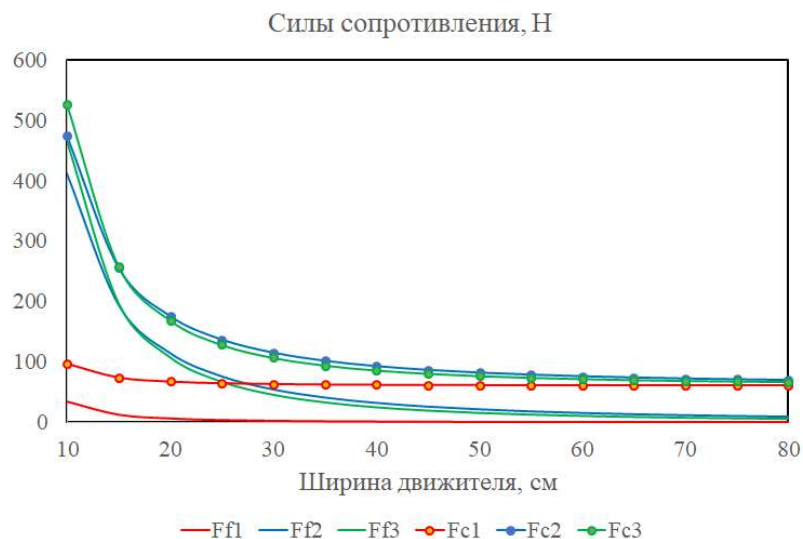
Графики сил сопротивления. Миксты



Зависимость силы сопротивления от смятия и суммарно силы учитывающей экскавационную составляющую для колеса МАК при разных полных массах для микста-25

Процент силы сопротивления от смятия в суммарной силе сопротивления для колеса МАК при разных полных массах для микста-25

Графики сил сопротивления. Миксты



Зависимость силы сопротивления от смятия и суммарной силы учитывающей экскавационную составляющую для движителя МАК при разных полных ширинах гусеницы (слева) для микста-50 и разных длинах плоской части гусеничного модуля (справа) для микста-0

Выводы

- 1. Впервые проведены экспериментальные исследования деформационных и сдвиговых свойств минерально-снежных микстов.** Разработана новая методика, заключающаяся в подготовке микстов путем смешивания известных объемов песка и снега. Смешивание проводится при низких температурах, исключающих таяние снега. При эксперименте температура составляла порядка $-20-25^{\circ}\text{C}$. **Введено понятие обозначающее состав микстов, а именно процентное содержание минеральной фазы в общем объеме. Получены «Микст-100» (песок), «Микст-75», «Микст-50», «Микст-25», «Микст-0» (снег).**
- 2. Приведены зависимости для расчета характеристики «нагрузка - осадка» для микстов.** В общем виде деформация снега подчиняется зависимости Малыгина и имеет одну вогнутость, деформация песка подчиняется зависимости Летошнева-Горячкина и имеет обратную вогнутость. Миксты в зависимости от процентного состава постепенно меняют свою вогнутость. При этом переход от одного вида кривизны к другому зависит как от процентного состава смеси, так и от температуры, а также от того находится микст в неразрушенном состоянии или при повторном нагружении. Приведены значения коэффициентов, входящих в формулы. Также были получены зависимости для упрощенного расчета для моделирования в пакетах программ для математического моделирования.
- 3. Впервые приведены зависимости для расчета сдвиговых характеристик микстов в зависимости от процентного соотношения минеральной составляющей.** Получена эмпирическая зависимость изменения коэффициента сцепления в зависимости от состава снежно-песчаной смеси.



Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Беляев Александр Михайлович

Научный руководитель —
д.т.н. В.С. Макаров

2021