

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЛОИСТОСТИ СРЕДЫ НА ПРОЦЕСС ЕЕ РАЗРУШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА, ЛЕЖАЩЕГО НА ПОВЕРХНОСТИ ДОРОГ

Инж. А.П. КУЛЯШОВ, канд. техн. наук, доц. Ю.И. МОЛЕВ

Рассматривается проблема взаимодействия рабочих органов дорожных машин со слоистой разрабатываемой средой. Авторами проанализировано влияние параметров слоистости снежного покрова на изменение усилия резания и энергоёмкости удаления снега.

The problem of car parts interaction with developed layered medium is examined. Parameters of snow lamination and their effect on cutter load changes and power consumption of snow removal process were also analyzed by the authors.

Разрушение представляет собой необратимое изменение формы локальной области занимаемой средой. Разрушению всегда предшествует пластическая деформация. Если разрабатываемая среда подвергнута со стороны рабочего органа машины такой нагрузке, при которой нарушается сплошность материала поверхности движения и при этом интенсивность поля напряжений достигает определенного значения, то наступает разрушение. В зависимости от распределения напряжений в среде полотна пути разрушение бывает двух типов: разрушение путем отрыва и разрушение путем сдвига. Разрабатываемые рабочими органами дорожных машин среды, в особенности снежный покров, образуют весьма специфическое по топологии строения, которые создают большие трудности при расчете нагрузок на рабочие органы.

Динамика начала и дальнейшего развития разрушения материала полотна пути перед рабочим органом определяются типом разрушения и топологией строения локальной среды опорного основания. Влияние топологии строения локальной среды полотна пути на пластическое деформирование характеризуется тремя факторами: 1) на деформацию могут влиять неоднородности напряженного состояния, вызванные отражением и взаимодействием волн напряжений, 2) пластическое деформирование почти не связано с объемным деформированием, поэтому изменение конфигурации среды должно начинаться на свободной поверхности; 3) разрушение при динамическом нагружении часто приводит к пластическим деформациям в результате относительного движения различных частей среды при разрушении.

В настоящее время для описания процессов деформирования и разрушения разрабатываемой среды наибольшее распространение получили два подхода: метод последовательного соединения физических уравнений и метод расчета многослойных конструкций. Первый метод основан на предположении о том, что напряжения и деформации в каждом из рассматриваемых слоев независимы. Математически данный метод может

быть представлен в виде следующей формулы: $A(c) = \sum_{i=1}^N A_i(c_i)$, где A искомый параметр

системы, например величина деформации, усилие на рабочем органе, удельная энергоёмкость разрушения системы и так далее; c — действующий параметр системы, такой как плотность, толщина, связанность; соответственно значок i указывает на численные значения данных параметров для каждого из слоев, образующих рассматриваемую сис-

тему. Второй метод основывается на предположении о возможном осреднении физико-механических свойств рассматриваемой системы. Анализ результатов, получаемых по каждому из методов, показал, что в случае, когда физико-механические свойства материала каждого из слоев резко отличаются друг от друга (например, резание льда, на поверхности которого имеется слой свежеснежавшего снега), максимальная точность достигается при использовании первого метода, а минимальная — при использовании второго. Если слои разрабатываемого материала незначительно отличаются по своим физико-механическим свойствам (а в пределе — совсем не отличаются между собой), то наиболее точные результаты достигаются при использовании второго метода, а наименее достоверные — при использовании первого. Для устранения указанных недостатков методов наиболее целесообразно использовать третий метод, который бы обладал всеми достоинствами ранее применяемых моделей, но не имел бы их недостатков. Достижение поставленных задач может быть достигнуто лишь за счет усложнения математической модели, которая примет вид

$$A(c) = \sum_{i=1}^N A_i(c_i) + \sum_{i=1}^{N-1} B_i(c_i, c_{i+1}),$$

где B_i — параметр, определяющий влияние близлежащих слоев друг на друга.

Исследование процесса взаимодействия рабочих органов со слоистым снежным покровом показало, что дополнительное влияние различных слоев снежного покрова друг на друга заключается в действии дополнительной силы трения, обусловленной разницей в скорости и величине деформации различных слоев снега,

$$B_i = dx_i^* db \varphi_i (\rho_i g h_i + q),$$

где $dx_i^* \rho_i h_i db$ — масса снега,двигающаяся выше поверхности сдвига, равная произведению разницы длин зон деформации близлежащих слоев снега, среднеинтегральной площади снега над плоскостью сдвига, глубины расположения поверхности сдвига и единичной ширины рабочего органа; φ — коэффициент трения между слоями снежного покрова; q — величина вертикальной удельной нагрузки, приложенной со стороны рабочего органа к снежному покрову.

Исходя из того, что величина зоны распространения деформации может быть найдена из выражения [5]:

$$x^* = \int_0^x \frac{\rho_0}{\rho(x)} dx + L(t),$$

где $L(t)$ — функция движения рабочего органа, принимая закон распределения плотности снега в зоне уплотнения в виде функции $\rho(x) = \rho_0 + Ox$, а также учитывая то, что предельная величина плотности, к которой стремится плотность любого слоя снега одинакова и равна 600—650 кг/м³, получим следующую зависимость:

$$dx^* = \int_0^x \frac{\rho_{0,i+1}}{\rho(x)} dx - \int_0^x \frac{\rho_{0i}}{\rho(x)} dx,$$

$$\text{или } dx^* = \frac{\rho_{0i+1}}{O_{i+1}} \int_{\rho_{0i+1}}^{\rho(x)} \frac{d(\rho_{0i+1} + Ox)}{\rho_{0i+1} + Ox} - \frac{\rho_{0i}}{O_i} \int_{\rho_{0i}}^{\rho(x)} \frac{d(\rho_{0i} + Ox)}{\rho_{0i} + Ox} = \frac{\rho_{0i+1}}{O_{i+1}} \ln \frac{\rho(x)}{\rho_{0i+1}} - \frac{\rho_{0i}}{O_i} \ln \frac{\rho(x)}{\rho_{0i}}.$$

Так как параметр O определяется величиной распространения деформации

$$O = \frac{\rho(x) - \rho_0}{x^*} = \frac{\rho(x) - \rho_0}{\int_0^x \frac{\rho_0}{\rho(x)} dx + L(t)},$$

то зона распространения деформации в снежном покрове от действия рабочего органа дорожной машины может быть найдена из уравнения

$$dx^* = \frac{x^* \rho_{0i+1}}{\rho(x) - \rho_{0i+1}} \ln \frac{\rho(x)}{\rho_{0i+1}} - \frac{(x^* + dx^*) \rho_{0i}}{\rho(x) - \rho_{0i+1}} \ln \frac{\rho(x)}{\rho_0},$$

$$\text{или } dx^* = x^* \frac{\frac{\rho_{0i+1}}{\rho(x) - \rho_{0i+1}} \ln \frac{\rho(x)}{\rho_{0i+1}} - \frac{\rho_{0i}}{\rho(x) - \rho_{0i+1}} \ln \frac{\rho(x)}{\rho_0}}{1 + \frac{\rho_{0i}}{\rho(x) - \rho_{0i+1}} \ln \frac{\rho(x)}{\rho_0}},$$

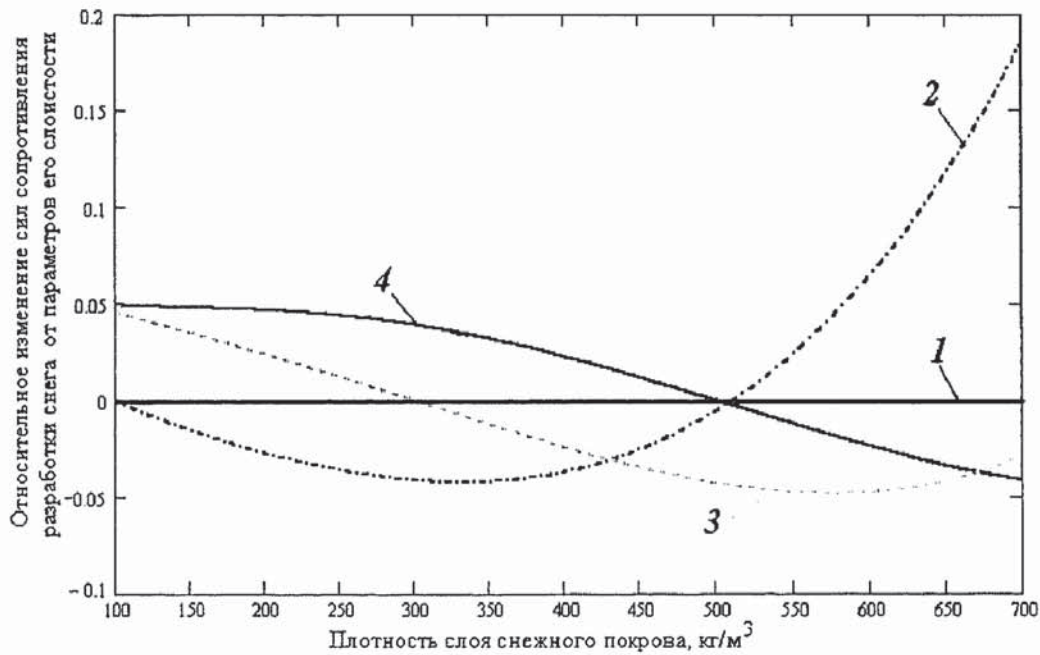


Рис. 1. Влияние различия физико-механических параметров близлежащих слоев снега на разницу сил сопротивления разработки снежного покрова. Зависимости: 1 — для однородного снежного покрова; 2 — для подстилающего слоя снега плотностью 100 кг/м³; 3 — для подстилающего слоя снега плотностью 300 кг/м³; 4 — зависимость для подстилающего слоя снега плотностью 500 кг/м³

Тогда разница в силе резания, обусловленная трением близлежащих слоев друг о друга, может быть определена из уравнения

$$B_i = x_i^* dh_i (\rho_i g h_i + q) \varphi_i \frac{\frac{\rho_{0i+1}}{\rho(x) - \rho_{0i+1}} \ln \frac{\rho(x)}{\rho_{0i+1}} - \frac{\rho_{0i}}{\rho(x) - \rho_{0i+1}} \ln \frac{\rho(x)}{\rho_0}}{1 + \frac{\rho_{0i}}{\rho(x) - \rho_{0i+1}} \ln \frac{\rho(x)}{\rho_0}},$$

$$\text{где } E_i = \varphi_i \frac{\frac{\rho_{0i+1}}{\rho(x) - \rho_{0i+1}} \ln \frac{\rho(x)}{\rho_{0i+1}} - \frac{\rho_{0i}}{\rho(x) - \rho_{0i+1}} \ln \frac{\rho(x)}{\rho_0}}{1 + \frac{\rho_{0i}}{\rho(x) - \rho_{0i+1}} \ln \frac{\rho(x)}{\rho_0}}.$$

показывает степень отличия рассматриваемого слоистого снежного покрова от однородного массива. Решение последней зависимости показано на рис. 1.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что максимальные отклонения в расчетах (до 20 %) имеют место при наличии слоя свежесвыпавшего снега на уплотненном снежном покрове. При других типах снегов, а именно: свежесвыпавший снег на эскавационно-разрушенном снегу, а также эскавационно-разрушенный снег на уплотненном снегу, силы сопротивления изменяются менее чем на 5 %. Следует отметить, что полученные данные позволяют лишь оценить влияние слоистости снежного покрова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баловнев В. И. Моделирование процесса взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. — М.: Высшая школа, 1981. — 335 с.
2. Беляков В. В., Молев Ю. И. Снег как опорное основание для движения транспортных средств. — М.: Известия академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. Т.5 «Транспортно-технологические машины и комплексы». — С. 203—220.
3. Ветров Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами. — М.: Машиностроение, 1971. — 360 с.
4. Епифанов В. П., Кузьменко В. П. Механика разрушения снега. — Изв. АН СССР. Механика твердого тела. 1986. — № 4. — С. 190—197.
5. Завьялов А. М. Основы теории взаимодействия рабочих органов дорожно-строительных машин со средой. дисс. на соиск уч. степени доктора тех. наук по специальности 05.05.04. Омск. 1999г. — 278 с.
6. Федоров Д. И. Рабочие органы землеройных машин. — М.: Машиностроение, 1990. — 368 с.