



УДК 625.768.5

© Г. Г. Воскресенский, 2010

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВНЕДРЕНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ШТАМПА В УПЛОТНЕННЫЙ СНЕГ

Воскресенский Г. Г. – канд. техн. наук, доц. кафедры «Транспортно-технологические системы в строительстве и горном деле» (ТОГУ), тел. (4212) 37-52-02

В статье приведены результаты экспериментальных исследований процесса внедрения прямоугольного штампа в уплотненный снег на автомобильной дороге. Установлена зависимость усилий внедрения от параметров штампа, глубины внедрения, температуры и плотности снега.

The article deals with the experimental results of studying the way a rectangular stamp penetrates condensed snow on an automobile road. Penetration force as a function of stamp's parameters, penetration depth, temperature and density of snow is established.

Ключевые слова: уплотненный снег, процесс внедрения прямоугольного штампа, усилия внедрения, параметры штампа.

Разрушение уплотненного снега при внедрении режущего инструмента происходит, например, в тех случаях, когда устройство для очистки покрытий автомобильных дорог совершает вертикальные колебания или осуществляется внедрение клинообразных рабочих органов, установленных на катках, роликах, гусеничном ходовом оборудовании. Возникающие при этом вертикальные усилия должны превышать силы сопротивления внедрению режущего инструмента в уплотненный снег. Теоретических и экспериментальных исследований, относящихся к этой проблеме, нами не установлено. Исследования К. Н. Коржавина, проведенные на чистом речном льду, свободном от трещин, пузырьков, пор и посторонних включений, ставили целью определение прочностных характеристик для процессов взаимодействия льда с опорами мостов, буровых вышек в открытом море, корпусом ледоколов [2].

Процесс внедрения режущего инструмента в уплотненный снег, находящийся на покрытии автомобильной дороги, отличается от экспериментов, проведенных К. Н. Коржавиным. Визуальное наблюдение за процессом внедрения режущего инструмента в уплотненный снег показывает, что движение инструмента сопровождается образованием пластической зоны перед режущей кромкой, затем, по мере повышения усилий, появлением трещины, даль-

нейшим ее раскрытием с прохождением режущей кромки через пластическую зону. Затем этот процесс создания пластической зоны и ее разрушения повторяется, но уже с усилиями более высоких значений.

Ирвин Г. Р. [3] предположил, что пластическая зона для композитов около кончика трещины может быть представлена цилиндрической областью с осью, параллельной фронту трещины (совпадающей с режущей кромкой). Пластическая деформация около фронта трещины «притупляет» ее кончик и вызывает раскрытие поверхностей трещины.

С целью установления влияния параметров прямоугольного штампа на усилия внедрения в зависимости от глубины внедрения была разработана и изготовлена мобильная экспериментальная установка (рис. 1), которая включает раму 1 с опорой 2, червячную лебедку 3 с канатом 4, образующим двухкратный полиспаст, силового штока 5 с испытуемым рабочим инструментом 6. Силовой шток 5 установлен в направляющих втулках, расположенных на раме 1, и перемещается вниз вместе с рабочим инструментом 6, а возврат в исходное положение происходит под воздействием пружины 7. Измерение усилий внедрения производилось динамометром 8 с точностью измерения $\pm 0,5$ Н и пределом измерений 2500 Н. Обеспечение неподвижности рамы при проведении опытов достигалось дополнительными пригрузами 9 по 20 кг, общей массой 200 кг.

Перемещение силового штока измерялось индикатором часового типа с погрешностью $\pm 0,025$ мм и предельным ходом силового штока 25 мм.

Для проведения экспериментов мобильная установка вывозилась на автомобильную дорогу и снабжалась пригрузами.

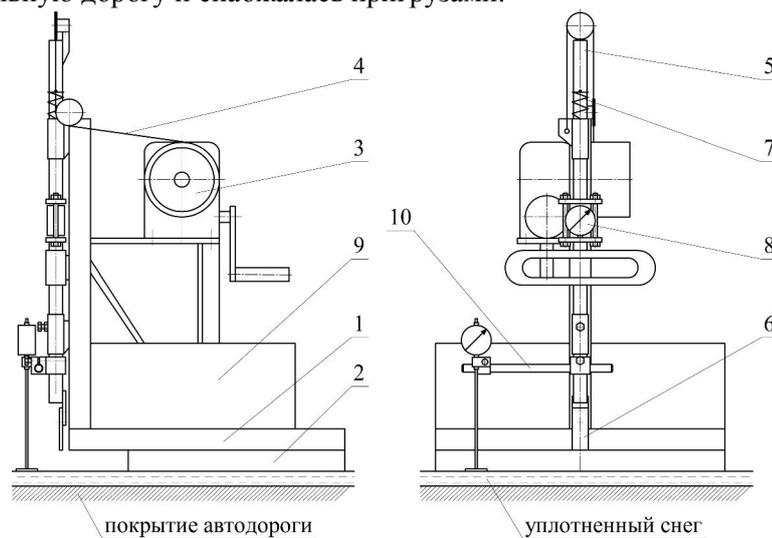


Рис. 1. Экспериментальная установка по определению усилий внедрения:
1 – рама; 2 – опора; 3 – червячная лебедка; 4 – канат; 5 – силовой шток;
6 – рабочий инструмент; 7 – пружина; 8 – динамометр; 9 – пригрузки;
10 – датчик перемещений силового штока



Эксперименты проводились при температуре $-17...-19^{\circ}\text{C}$, плотности снега $0,57...0,59\text{ г/см}^3$, толщине слоя уплотненного снега от 2 до 4 см. Исследования процесса внедрения в уплотненный снег прямоугольных штампов выполнены для штампов с размерами $b \times \delta$, где b – ширина лезвия, δ – толщина лезвия, $\delta = 0,2...0,6\text{ см}$, $b = 1...3\text{ см}$.

Процесс внедрения лезвий сопровождается нелинейным ростом усилий в зависимости от глубины внедрения (рис. 2).

Это явление может быть объяснено тем, что с увеличением глубины погружения объемная прочность на сжатие возрастает так же, как и объем пластичной зоны, в связи с этим усилие внедрения увеличивается.

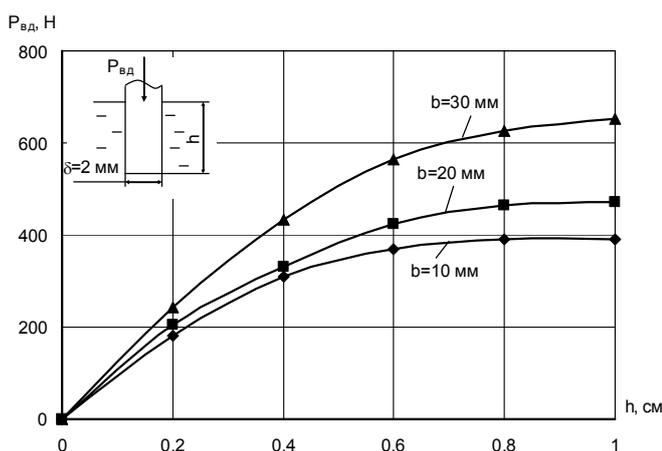


Рис. 2. Экспериментальная зависимость усилия внедрения $P_вд$ прямоугольных лезвий от глубины погружения h

Обработка результатов эксперимента проведена методом ортогонального центрального композиционного плана и получена зависимость усилия внедрения $P_вд = f(\delta, b, h)$:

$$P_вд = 49,2 + 623,85\delta - 197,47b + 744,75h - 821,57\delta^2 + 48,37b^2 - 727,17h^2 + 18,75\delta \cdot b + 875\delta \cdot h + 155b \cdot h. \quad (1)$$

По зависимости (1) рассчитаны усилия $P_вд$ для $\delta = 0,2\text{ см}$, $b = 1,2,3\text{ см}$. Из графиков (рис. 2) следует, что наилучшая сходимость результатов опытов и аппроксимирующей функции наблюдается для более широких штампов.

Установим, какие параметры оказывают наибольшее влияние на изменение усилий внедрения. Для этого найдем частные производные от параметров δ , b , h :

$$\frac{\partial P_вд}{\partial h} = 744,75 + 875\delta + 155b - 1454,34h;$$

$$\frac{\partial P_e}{\partial \delta} = 623,85 - 1643,14\delta + 18,75b + 875h;$$
$$\frac{\partial P_e}{\partial b} = -197,47 + 18,75\delta + 96,74b + 155h.$$

Интенсивность изменения усилий P_e зависит линейно от толщины, ширины лезвия и глубины погружения. При увеличении глубины погружения интенсивность изменения силы $\frac{\partial P_e}{\partial h}$ снижается, тогда как рост других параметров δ , b приводит к увеличению $\frac{\partial P_e}{\partial h}$.

Интенсивность изменения силы внедрения $\frac{\partial P_e}{\partial \delta}$ линейно возрастает от ширины лезвия b и глубины погружения h , однако с увеличением толщины лезвия δ интенсивность усилий внедрения при постоянных b , h снижается. Это явление можно объяснить тем, что, предположительно, форма пластичной зоны близка к эллипсоиду и увеличение толщины лезвия приводит к более полному заполнению площади эллипса пластичной зоны площадью штампа.

Интенсивность изменения усилий $\frac{\partial P_e}{\partial b}$ линейно возрастает с увеличением толщины, ширины лезвия и глубины погружения. Для толщины лезвия $\delta = 0,2$ см; $0,4$ см; $0,6$ см глубина внедрения h , при которой наблюдается стабилизация усилий внедрения в зависимости от ширины лезвия, составит:

$$h = 0,634 + 0,106b, \text{ см; для } \delta = 0,2 \text{ см;}$$

$$h = 0,753 + 0,106b, \text{ см; для } \delta = 0,4 \text{ см;}$$

$$h = 0,873 + 0,106b, \text{ см; для } \delta = 0,6 \text{ см.}$$

Если отнести величину установившегося усилия внедрения P_e (для конкретной глубины) к площади поперечного сечения лезвия, то можно получить величины среднего напряжения внедрения σ_e от площади лезвия (рис. 3).

С увеличением площади поперечного сечения усилия P_e сначала возрастает нелинейно, затем наблюдается линейный рост, а напряжение σ_e уменьшается и затем стабилизируется. Следует отметить, что эксперименты проведены на слоях уплотненного снега толщиной $h = 2...4$ см. Опыты показали, что увеличенные толщины слоя уплотненного снега $h = 5...10$ см незначительно влияют на значения P_e . Эксперименты, проведенные на слоях уплотненного снега $h < 2$ см показали существенное, на $30...40$ % увеличение силы внедрения одних и тех же штампов. Объяснения этим явлениям, возмож-



но, следует искать в особенностях структуры уплотненного снега на автомобильной дороге. В тонких слоях уплотненного снега наблюдается увеличенное количество льдистых прослоек, чередующихся со слоями снега, а прочность льда существенно выше прочности уплотненного снега.

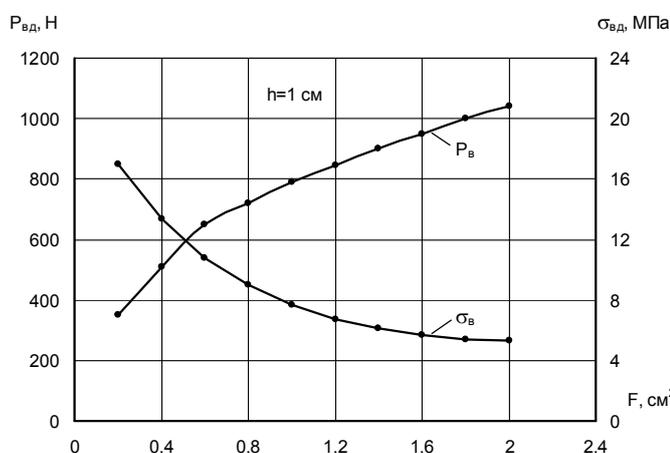


Рис. 3. Зависимость усилия P_g и напряжения σ_g от площади поперечного сечения лезвия

Учитывая условия проведения экспериментов (необходимость удаления уплотненного снега на автомобильной дороге, изменение температуры, плотности снега и других факторов), нам не удалось установить влияние температуры и плотности снега в многофакторных опытах. В то же время в работах А. Н. Зеленина [1] приведена зависимость силы резания от температуры в виде $P = K \sqrt{|t^\circ C|}$. Понимая важность зависимости силы внедрения от многочисленных факторов, и результаты экспериментов, проведенных при различной температуре и плотности снега, считаем возможным предложить зависимость силы внедрения в виде:

$$P = P_g \sqrt{\frac{t}{t_0} \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^2}, H, \quad (2)$$

где t_0 – температура проведения опытов, $t_0 = -17^\circ C$; ρ_0 – плотность проведенных опытов, $\rho_0 = 0,57 \text{ г/см}^3$; P_g – усилие внедрения по зависимости (1); t, ρ – соответственно, текущее значение температуры и плотности снега.

Весьма важно иметь характер изменения глубины внедрения в зависимости от усилий P .

Выразим (2) в виде $P = (A_0 + A_1 h - A_2 h^2) \sqrt{\frac{t}{t_0} \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^2}$ и выделим уравнение:

$$h^2 - \frac{A_1}{A_2} h - \left[\frac{A_0}{A_2} + \frac{P}{A_2} \sqrt{\frac{t_0}{t}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^2 \right] = 0, \quad (3)$$

где $A_0 = 49,2 + 623,85\delta - 197,47b - 821,57\delta^2 + 48,37b^2 + 18,75\delta b$;
 $A_1 = 744,75 + 875\delta + 155b$; $A_2 = -727,17$. Для $\delta = 0,2 \dots 0,6$ см , $b = 1 \dots 3$ см,
 $A_0 \ll A_2$.

Глубина внедрения h определяется решением уравнения: (3)

$$h = \frac{A_1}{2A_2} + \sqrt{\frac{A_1^2}{4A_2^2} + \frac{P}{A_2} \sqrt{\frac{t_0}{t}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^2 + \frac{A_0}{A_2}}. \quad (4)$$

Зависимость (4) справедлива для небольших глубин внедрения $h < 1 \dots 1,5$ см, которые определяются параметрами диапазона многофакторного эксперимента.

В результате проведенных экспериментальных исследований уточнен процесс внедрения прямоугольного штампа в уплотненный снег, установлена регрессионная зависимость усилий внедрения с учетом ширины и толщины штампа, глубины внедрения, температуры и плотности снега. Процесс внедрения прямоугольного штампа характеризуется периодическим формированием пластичной зоны, появлением и развитием трещины внутри пластичной зоны и дальнейшим ее разрушением. Глубина внедрения определяется усилиями внедрения, параметрами штампа, температурой и плотностью снега. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании рабочих органов машин для разрушения уплотненного снега на автомобильных дорогах, а также для исследования процессов взаимодействия гусеничной ходовой части мобильных машин.

Библиографические ссылки

1. Зеленин А. Н. и др. Машины для земляных работ. Учебное пособие для вузов / А. Н. Зеленин, В. И. Баловнев, И. П. Керов. – М.: Машиностроение, 1975. – 424 с.
2. Коржавин К. Н. Воздействие льда на инженерные сооружения. – Новосибирск: Изд. СО АН СССР, 1962. – 200 с.
3. Снег. Справочник / Под ред. Д. М. Грея и Д. Х. Мэйла. Пер. с англ. под ред. чл.-кор. АН СССР В. М. Котлякова. – Л.: Гидрометеиздат, 1986 – 726 с.