

УДК 624.139

DOI: 10.46960/62045_2020_2_4

И.Г. Мартюченко, М.И. Зенин
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВИНТОВОГО БУРА С МЕРЗЛЫМ ГРУНТОМ

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.

Обоснована актуальность исследования буровых работ на мерзлых грунтах. Приведены результаты исследования взаимодействия винтовой лопасти разрушающей части бурового инструмента с мерзлым грунтом. Найден силовой баланс на разрушающей части между вертикальными составляющими сил сопротивления внедрения винтовой лопасти в грунт. Определено влияния геометрических параметров на данные силы. Сделан вывод об эффективности винтового бура при работах на мерзлых грунтах.

Ключевые слова: буровой инструмент, винтовой рабочий орган, винтовая лопасть, откол грунта, внедрение лопасти, разрушающая часть, бурение мерзлого грунта.

Буровые работы на территории вечной мерзлоты представляют большой интерес, прежде всего, с точки зрения их высокой стоимости. Она определяется, в первую очередь, свойствами мерзлых грунтов: высокой прочностью и абразивностью, проводящими к быстрому износу бурового инструмента. Помимо этого, мерзлый грунт представляет собой сложно структурированную породу, в которой встречаются также пластичные талые грунты с большим содержанием влаги, глинистых и торфяных частиц. В силу этого буровые инструменты, пригодные для использования на мерзлых грунтах, на пластичных теряют свою работоспособность и увеличивают энергоемкость процесса бурения. Для решения этой проблемы в настоящее время используются дорогостоящие средства: твердые сплавы или алмазные напыления на рабочие поверхности [1-6]. По сравнению с существующими буровыми инструментами, винтовой бур более эффективно разрушает грунт при бурении скважины. Идея применения винтового бура с увеличенным радиусом винтовой лопасти на разрушающей части для осуществления отрыва мерзлого грунта, представлена в заявке на патент № 2019114496 [7].

Винтовой бур представляет собой сердечник с размещенной на нем винтовой лопастью, которую делят на заходную и разрушающую части. Заходная часть предназначена для создания тяговой способности винтового бура и осуществления его погружения без действия осевого задавливающего усилия. Разрушающая часть представляет собой винтовую лопасть переменного радиуса, расположенную на цилиндрическом участке сердечника, что позволяет реализовывать процесс разрушения грунта деформацией отрыва. Она имеет винтовую лопасть с переменными геометрическими параметрами. На первом участке лопасть имеет постоянный шаг и переменный радиус, изменяющийся при повороте радиуса на определенный угол (ψ). На втором участке винтовая лопасть имеет постоянный радиус и увеличивающийся шаг, при этом наклон верхней образующей поверхности винтовой лопасти к оси вращения изменяется от острого до прямого угла [8].

Целью теоретических исследований было изучение взаимодействия винтового бура с мерзлым грунтом. Основные задачи: нахождение силового баланса на разрушающей части между вертикальными составляющими сил сопротивления внедрения винтовой лопасти в грунт (рис. 1); определение влияния на данные силы следующих геометрических параметров:

- угол наклона образующей верхней поверхности винтовой лопасти;
- угол наклона образующей нижней поверхности винтовой лопасти;
- угол поворота радиуса винтовой лопасти, при котором происходит его приращение;
- угол подъема средней винтовой линии нижней поверхности винтовой лопасти.

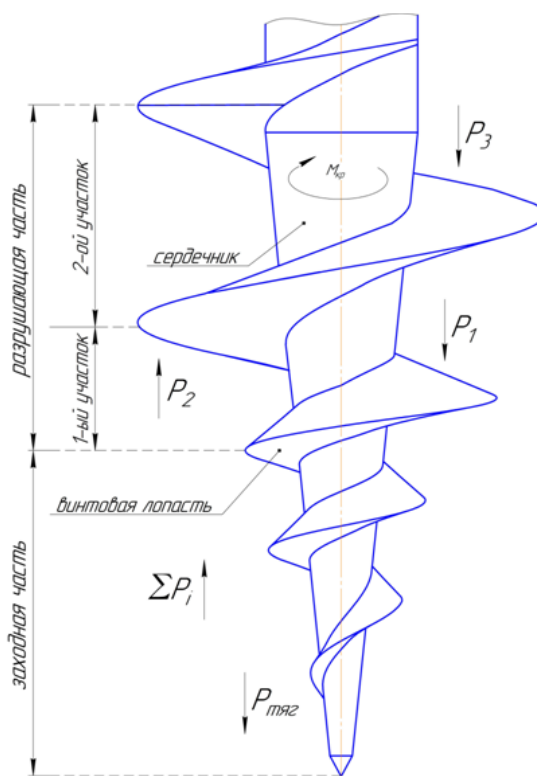


Рис. 1. Схема силового баланса

На погружение винтового бура действует сила сжатия грунта, возникающая на заходной части винтовой лопасти, в результате чего развивается тяговая способность. Далее на винтовой лопасти разрушающей части формируется сила, приводящая к разрушению грунта деформацией отрыва. Для эффективной работы бурового инструмента необходимо выполнение условия, при котором заходная часть, завинчиваясь в грунт, обеспечивает тяговую способность для протекания процесса бурения. Условие силового баланса, возникающего на заходной части, выполняется, и обеспечивает погружение [9]. В этом случае для эффективной работы всего винтового бура необходимо соблюдения условия силового баланса на разрушающей части, который примет вид:

$$P_1 + P_3 \geq P_2, \tag{1}$$

где, P_1 – вертикальная составляющая результирующей силы сопротивления внедрения верхней поверхности винтовой лопасти первого участка разрушающей части в грунт, Н; P_2 – вертикальная составляющая результирующей силы сопротивления внедрения нижней поверхности винтовой лопасти разрушающей части в грунт, Н.

P_3 – вертикальная составляющая результирующей силы сопротивления внедрения верхней поверхности винтовой лопасти второго участка разрушающей части в грунт, Н;

Рассмотрим более подробно силы сопротивления, возникающие на двух участках разрушающей части при внедрении винтовой лопасти в грунт (рис. 2). Вертикальные составляющие результирующих сил сопротивления внедрению винтовой лопасти в грунт, возникающие на поверхностях винтовой лопасти двух участков разрушающей части, будут иметь следующий вид:

для верхней поверхности винтовой лопасти первого участка:

$$P_{1y} = P_{1n} \cdot \cos(90^\circ - \alpha_1); \tag{2}$$

для нижней поверхности винтовой лопасти первого участка:

$$P_{2y} = P_{2n} \cdot \cos(\delta_1); \tag{3}$$

для верхней поверхности винтовой лопасти второго участка:

$$P_{3y} = P_{3n} \cdot \cos(\omega_2), \tag{4}$$

где P_1 – результирующая сила, возникающая на верхней поверхности винтовой лопасти первого участка, кН;
 P_2 – результирующая сила, возникающая на нижней поверхности винтовой лопасти первого участка, кН;
 P_3 – результирующая сила, возникающая на верхней поверхности винтовой лопасти второго участка, кН.

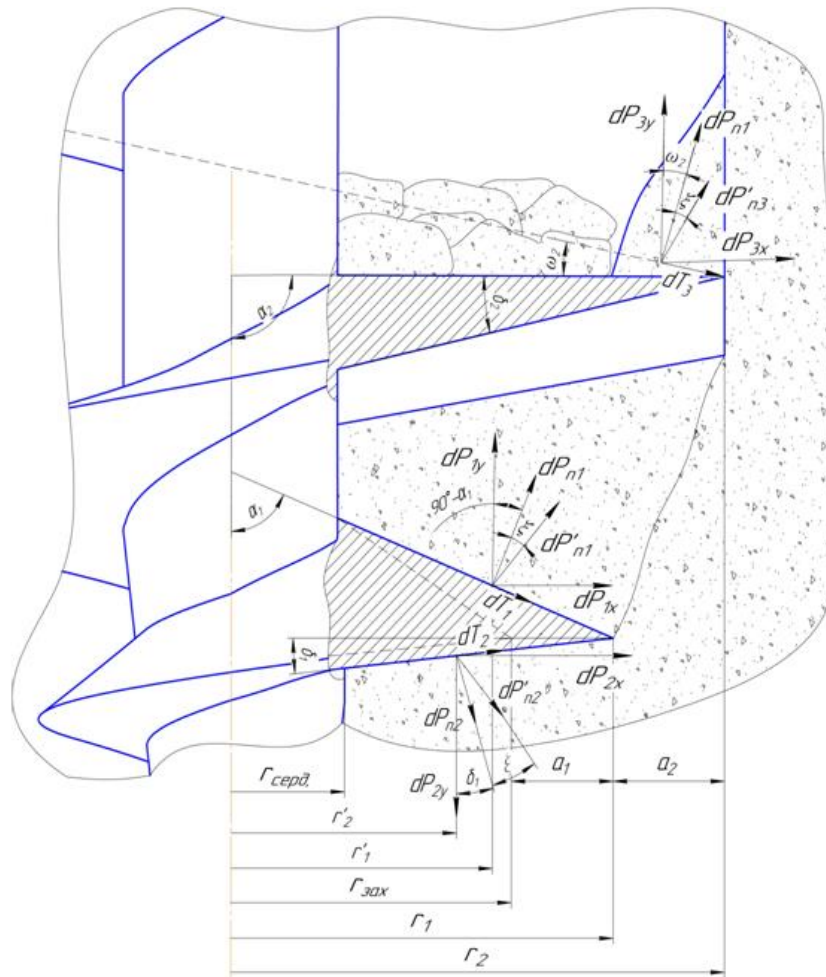


Рис. 2. Схема сил сопротивления внедрения в грунт винтовой лопасти разрушающей части

После ряда преобразований, в конечном виде зависимости вертикальных составляющих результирующих сил сопротивления внедрения винтовой лопасти в грунт от геометрических параметров и механических свойств грунта будут иметь вид:

для верхней поверхности винтовой лопасти первого участка:

$$P_1 = \left(\frac{p_1 \left(\frac{a_1 \cdot \cos(\alpha_1)}{\Delta_o} \right)^\mu \cdot (r_1^2 - r_{серд}^2) \cdot \psi_1^{2\mu+1} \cdot \cos(90^\circ - \alpha_1)}{2 \cdot (\sqrt{\cos^2(\omega_1) - \cos^2(\alpha_1)}) \cdot (1 + 2\mu) \cdot \cos(\xi)} \right); \quad (5)$$

для нижней поверхности винтовой лопасти первого участка:

$$P_2 = \left(\frac{p_1 \left(\frac{a_1 \cdot \cos(90^\circ - \delta_1)}{\Delta_o} \right)^\mu \cdot (r_1^2 - r_{серд}^2) \cdot \psi_1^{2\mu+1} \cdot \cos(\delta_1)}{2 \cdot (\sqrt{\cos^2(\omega_1) - \cos^2(\delta_1)}) \cdot (1 + 2\mu) \cdot \cos(\xi)} \right); \quad (6)$$

для верхней поверхности винтовой лопасти второго участка:

$$P_3 = \left(\frac{p_2 \left(\frac{a_2 \cdot \cos(90^\circ - \omega_2)}{\Delta_1} \right)^\mu \cdot (r_2^2 - r_1^2) \cdot \psi_1^{2\mu+1} \cdot \cos(\omega_2)}{2 \cdot (\sqrt{\cos^2(\omega_2) - \cos^2(\alpha_2)}) \cdot (1 + 2\mu) \cdot \cos(\xi)} \right) \quad (7)$$

С учетом полученных формул вертикальных составляющих результирующих сил сопротивления внедрения винтовой лопасти в грунт (5), (6) и (7), уравнение силового баланса на разрушающей части примет следующий вид:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{p_1 \left(\frac{a_1 \cdot \cos(90^\circ - \alpha)}{\Delta_0} \right)^\mu \cdot (r_1^2 - r_{\text{серд}}^2) \cdot \psi_1^{2\mu+1} \cdot \cos(90^\circ - \alpha)}{2 \cdot (\sqrt{\cos^2(\omega_1) - \cos^2(\delta)}) \cdot (1 + 2\mu) \cdot \cos(\xi)} \right) + \\ & + \left(\frac{p_2 \left(\frac{a_2 \cdot \cos(90^\circ - \omega_2)}{\Delta_1} \right)^\mu \cdot (r_2^2 - r_1^2) \cdot \psi_1^{2\mu+1} \cdot \cos(\omega_2)}{2 \cdot (\sqrt{\cos^2(\omega_2) - \cos^2(\alpha_2)}) \cdot (1 + 2\mu) \cdot \cos(\xi)} \right) \geq \\ & \geq \left(\frac{p_1 \left(\frac{a_1 \cdot \cos(90^\circ - \delta_1)}{\Delta_0} \right)^\mu \cdot (r_1^2 - r_{\text{серд}}^2) \cdot \psi_1^{2\mu+1} \cdot \cos(\delta_1)}{2 \cdot (\sqrt{\cos^2(\omega_1) - \cos^2(\delta_1)}) \cdot (1 + 2\mu) \cdot \cos(\xi)} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

Условие силового баланса выполняется с разницей в 2 % между силами, которые развивают тяговую способность и силой сопротивления. Величина угла поворота радиуса винтовой лопасти ψ , при котором происходит его приращение, оказывает влияние на величину вертикальной составляющей результирующей силы сопротивления $P_{\text{верх}}$ внедрения верхней поверхности винтовой лопасти разрушающей части в грунт, увеличивая ее значение более чем в 10,9 раз. Зависимость силы сопротивления $P_{\text{верх}}$ внедрения верхней поверхности винтовой лопасти разрушающей части в грунт от угла поворота радиуса винтовой лопасти ψ , при котором происходит его приращение, угла наклона образующей верхней поверхности α и угла подъема средней винтовой линии верхней поверхности винтовой лопасти ω , представлена на рис. 3.

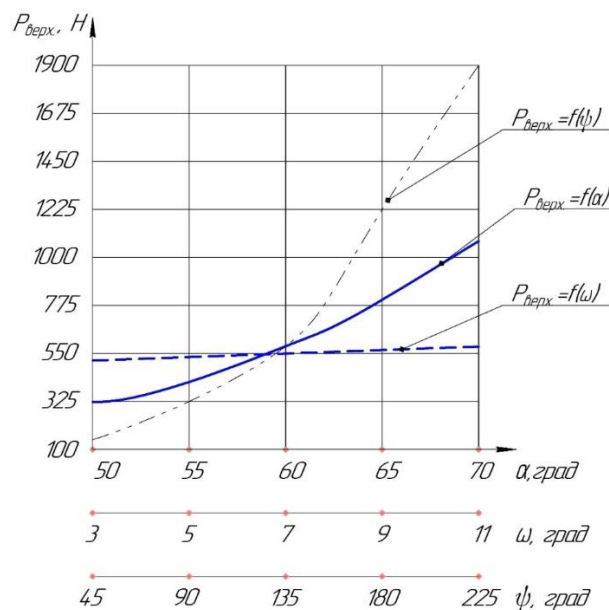


Рис. 3. Зависимость силы сопротивления $P_{\text{верх}}$ внедрения верхней поверхности винтовой лопасти разрушающей части в грунт от угла поворота радиуса винтовой лопасти ψ

Похожую картину изменения значения величины вертикальной составляющей результирующей силы сопротивления $P_{\text{верх}}$ внедрения верхней поверхности винтовой лопасти разрушающей части в грунт дает угол наклона образующей верхней поверхности α находящийся в диапазоне от 50° до 70° . Величина вертикальной составляющей результирующей силы сопротивления $P_{\text{верх}}$ внедрения верхней поверхности винтовой лопасти разрушающей части в грунт увеличивается в 3,5 раза. Угол подъема средней винтовой линии верхней поверхности винтовой лопасти ω от 3° до 11° оказывает меньшее влияние на значение величины силы сопротивления $P_{\text{верх}}$ внедрения верхней поверхности винтовой лопасти разрушающей части в грунт увеличивает ее менее чем на 4 %.

Величина угла поворота радиуса винтовой лопасти ψ , при котором происходит его приращение, оказывает влияние на величину вертикальной составляющей результирующей силы сопротивления $P_{\text{верх}}$ внедрения нижней поверхности винтовой лопасти разрушающей части в грунт, увеличивая ее значение более чем в 11,5 раз. Зависимость силы сопротивления $P_{\text{ниж}}$ внедрения нижней поверхности винтовой лопасти разрушающей части в грунт от угла поворота радиуса винтовой лопасти ψ , при котором происходит его приращение, угла наклона образующей нижней поверхности δ и угла подъема средней винтовой линии нижней поверхности винтовой лопасти ω , представлена на рис. 4.

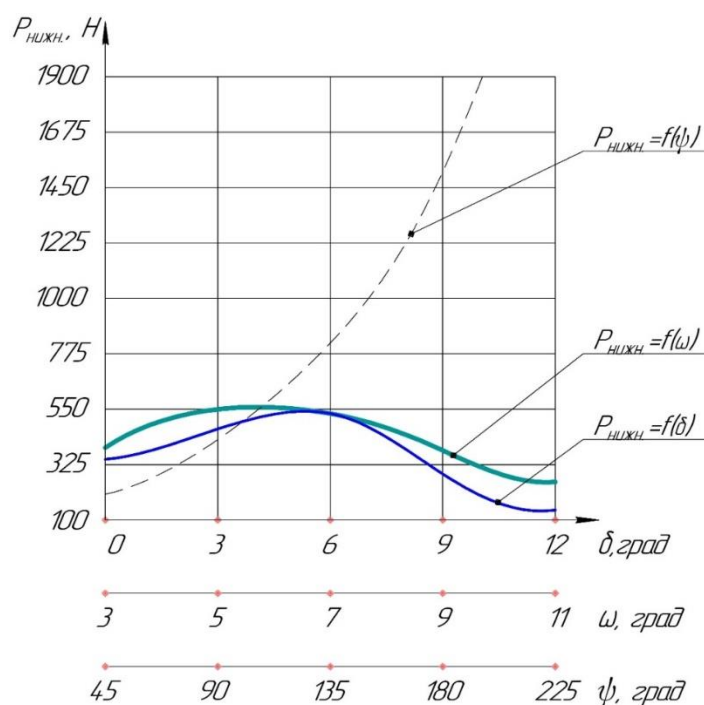


Рис. 4. Зависимость силы сопротивления $P_{\text{ниж}}$ внедрения нижней поверхности винтовой лопасти разрушающей части в грунт от угла поворота радиуса винтовой лопасти ψ

Изменение значения величины вертикальной составляющей результирующей силы сопротивления $P_{\text{верх}}$ внедрения нижней поверхности винтовой лопасти разрушающей части в грунт дает угол наклона образующей нижней поверхности δ находящийся в диапазоне от 0° до 12° . Величина вертикальной составляющей результирующей силы сопротивления $P_{\text{верх}}$ внедрения нижней поверхности винтовой лопасти разрушающей части в грунт увеличивается на 69 %. Затем происходит ее уменьшение на 73 %, и она становится постоянной.

Угол подъема средней винтовой линии верхней поверхности винтовой лопасти ω от 3° до 11° оказывает изменение на значение величины силы сопротивления $P_{\text{верх}}$ внедрения

нижней поверхности винтовой лопасти разрушающей части в грунт, увеличивая на 53 %, после происходит уменьшение на 64 %, и затем она становится постоянной.

Установлено, что эффективное сочетание основных геометрических параметров винтовой лопасти на первом участке способствуют уменьшению значения силы сопротивления внедрения винтовой лопасти разрушающей части в грунт. Это происходит, когда угол поворота радиуса винтовой лопасти ψ , при котором происходит его приращение, находится в диапазоне от 45° до 90° . Угол подъема средней винтовой линии нижней поверхности винтовой лопасти ω находится при этом в диапазоне от 5° до 7° , угол наклона образующей нижней поверхности δ – в диапазоне от 3° до 6° , а угол наклона образующей верхней поверхности α – в диапазоне от 55° до 60° .

Библиографический список

1. Черкасов, В. И. Области применения и проблемы бурения неглубоких скважин [Текст] // Разведка и охрана недр. 2014. № 2. С. 24-27.
2. Zhou, G. et al. Laboratory investigation on tensile strength characteristics of warm frozen soils [Текст] // Cold Regions Science and Technology. 2015. Т. 113. Pp. 81-90.
3. Тимофеев, Н.Г. Концепция разработки инновационного породоразрушающего инструмента для бурения скважин в условиях криолитозоны [Текст] / Н.Г. Тимофеев, А.Н. Жирков // Евразийский союз ученых. 2015. № 4. С. 151-154.
4. Talalay, P.G. Introduction to Ice Drilling Technology. Mechanical Ice Drilling Technology [Текст]. Springer, Singapore, 2016. Pp. 1-8.
5. Мильченко, И В. Буровые работы на вечномерзлых грунтах [Текст] // Экологические проблемы Арктики и северных территорий. 2012. С. 102-105.
6. Ивкин, В С. Малообъемные, рассредоточенные зимние земляные работы в стесненных условиях строительства [Текст] / В.С. Ивкин, Н.П. Вунберова // Вестник УлГТУ. 2018. № 2. С. 52-55.
7. Валигура, Н.С. Способы бурения неглубоких скважин [Текст] // Разведка и охрана недр. 2014. № 2. С. 27-30.
8. Герасимов, Д.С. и др. О влиянии режима нагружения на механические свойства мерзлых грунтов [Текст] // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Материалы Международной научно-технической конференции. Под общ. редакцией Ш.М. Мерданова – Тюмень: ТИУ, 2015. С. 73-77.
9. Du H. Strength properties of icy frozen silt sands under uniaxial compression for a wide range of strain rates and moisture content. Science and technology of cold regions [Текст]. 2016. No. 123. Pp. 107-113.
10. Ивкин, В.С. Влияние физико-механических свойств грунтов на работу машин для земляных работ [Текст] / В.С. Ивкин, М.О. Алашеев // Вестник УлГТУ. 2015. № 3. С. 62-67.
11. Мартюченко, И.Г. Перспективы развития бурового инструмента для вечномерзлых грунтов [Текст] / И.Г. Мартюченко, И.М. Зенин // Строительные и дорожные машины. 2019. № 9. С. 47-48.
12. Мартюченко, И.Г. Обоснование эффективности работы бурового инструмента на мерзлых грунтах [Текст] / И.Г. Мартюченко, И.М. Зенин [Текст] // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации. Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. – Омск, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). 2019. С. 31-35.