

УДК 624.132.3

В. К. РУДНЕВ, д-р тех. наук, профессор

В. Н. СУПОНЕВ, канд. тех. наук, доцент

В.И. ОЛЕКСИН, ассистент

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков

## РАСШИРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН КОЛЬЦЕВЫМИ НОЖАМИ

*Построена расчетная зависимость для определения силы сопротивления резанию грунта кольцевыми ножами при расширении скважины после ее предварительного формирования методом статического прокола.*

**Ключевые слова:** расширение скважины; прокол грунта; сила сопротивления резанию грунта кольцевым ножом.

*Побудована розрахункова залежність для визначення сили опору різання ґрунту кільцевими ножами під час розширення свердловини після її попереднього утворення методом статичного проколу.*

**Ключові слова:** розширення свердловини; прокол ґрунту; сила опору різанню ґрунту кільцевими ножем.

### Введение

При прокладке инженерных коммуникаций получил широкое применения метод статического прокола грунта. При этом формируемая им скважина ограничивается, как правило, 200-300 мм. Связано это с необходимостью создания больших задавливающих усилий и возникновением возможности разрушения поверхности грунта. Поскольку основной диапазон диаметров скважин для прокладки защитных футляров под распределительные сети находится в диапазоне 200–400 мм то повышение эффективности разработки скважины путем применения комбинированного метода, основанном на применении методов прокола и продавливания [1] – является актуальной задачей. В этом случае при разработке скважины реализуется эффект ее формирования уплотнением грунта в стенки до допустимых пределов и последующего расширения скважины кольцевыми ножами до требуемых размеров без увеличения напряженного состояния грунта. В статье приводятся результаты теоретического и экспериментального исследования по определению сил сопротивления, возникающих при резании грунта кольцевыми ножами.

### Анализ исследований

Процесс проходки скважины проколом заключается в задавливании грунтопрокалывающего рабочего органа с конусным наконечником в грунт с помощью гидравлических домкратов. Грунтопрокалывающие установки просты, и имеют малые габариты, а стенки скважины устойчивы к просыпанию, что не требует дополнительного укрепления. Основным недостатком данного метода является то, что вследствие уплотнения грунта его высокое напряженное состояние может вызвать разрушение поверхности грунта. Поэтому диаметр скважины ограничивается минимально допустимым, при котором устройство скважины не вызывает разрушения поверхности грунта [2]. Дальнейшее расширение скважины возможно с применением кольцевых ножей, которые поэтапно срезают слои грунта со стенок скважины с определенной толщиной стружки. После каждого их прохода необходимо производить очистку скважины от срезанного грунта.

Эффективность использования комбинированного метода на основании кольцевого резания при формировании скважины, подтверждается практической реализацией [3].

Расчетные зависимости по определению силы сопротивления расширению скважины кольцевыми ножами, учитывающих особенности их работы и физико-механические свойства грунта отсутствуют.

### Цель работы

Целью работы является определение сил сопротивления грунта при расширении скважины кольцевыми ножами, полученной после статического прокола в зависимости от ее диаметра и физико-механических свойств грунта.

### Основная часть

Как отмечалось выше, комбинированный способ проходки скважин сочетает в себе преимущества известных способов прокола и продавливания. Суть комбинированного способа заключается в том, что вначале проколом образуют лидирующую, ослабляющую массив, скважину, которую затем расширяют, доводя ее диаметр до нужного размера.

Расширение скважины может осуществляться уплотняющим конусом, кольцевыми режущими ножами, задавливанием трубы, желонкой. Рассмотрим один из названных способов проходки скважин [4, 5] - расширение скважины кольцевыми режущими ножами, которое показано на рис.1. Заметим, что одновременно с осуществлением 4-го этапа (рис. 1, г) может производиться и затягивание трубы.

Между диаметрами  $d$  и  $d_1$  (рис. 1), также должно выдерживаться определенное соотношение, определяемое необходимостью прохождения разрушенного грунта через окна в кольцевом ноже (рис. 2). С учетом конструкции ножа и коэффициента разрыхления грунта было установлено, что оно будет в диапазоне

$$\frac{d_1}{d} \approx 1,25...1,35 \quad (1)$$

Рассмотрим сопротивления, возникающие при реализации данной технологии. Схема взаимодействия кольцевого ножа с грунтом в скважине показана на рис. 1.

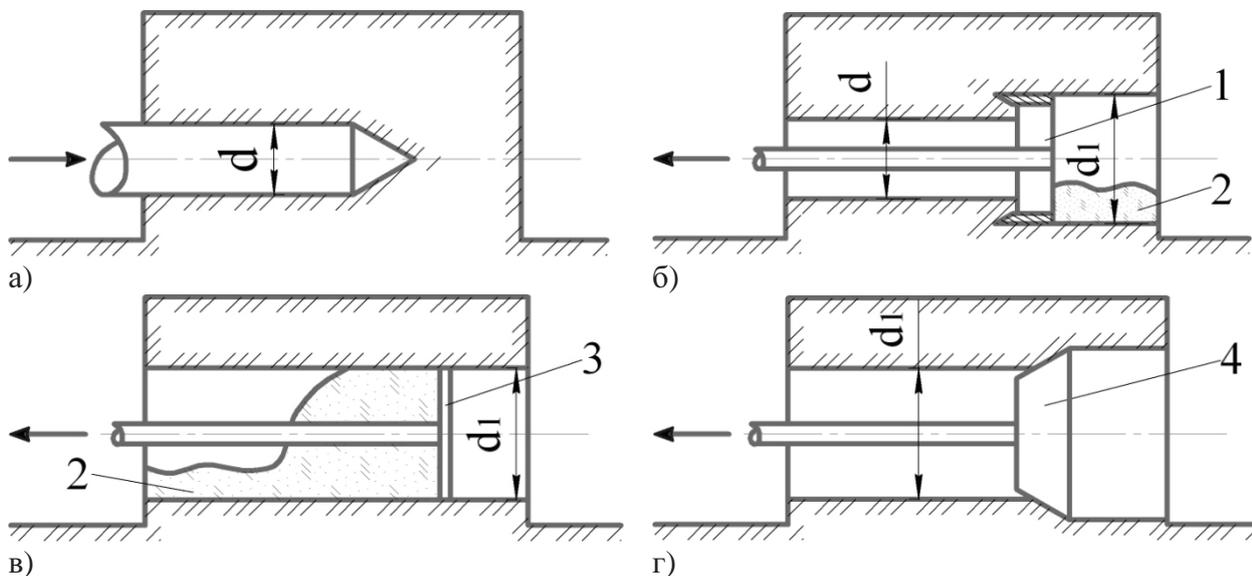


Рис. 1. Схема расширения скважины кольцевым режущим ножом:

- а – проходка лидирующей скважины; б – расширение скважины кольцевым ножом;
- в – очистка скважины от разрушенного грунта; г – уплотнение стенок скважины конусом;
- 1 – кольцевой нож; 2 – разрушенный грунт; 3 – очистной диск; 4 – уплотняющий конус

Полагаем, что толщина срезанной ножом стружки соответствует условию (1), либо несколько меньше. В противном случае приходится тратить дополнительную энергию на прессование разрыхленного грунта с тем, чтобы он смог пройти сквозь окна ножа. По мере продвижения кольцевого ножа перед ним образуется призма грунта давление которой способствует прохождению разрушенного грунта через окна ножа. Эта сила  $P_1$  (рис. 1) вызывает распорное усилие  $P_p$ , которое создает дополнительную нагрузку на отделяемый от

массива ножом элемент грунта. Таким образом, при перемещении кольцевого ножа приходится преодолевать усилие  $P_1$ , трение обечайки ножа о стенки скважины, лобовое сопротивление грунта ребрам ножа, трение проходящего через окна ножа разрушенного грунта и сопротивление отделения элемента грунта от массива [6, 7].

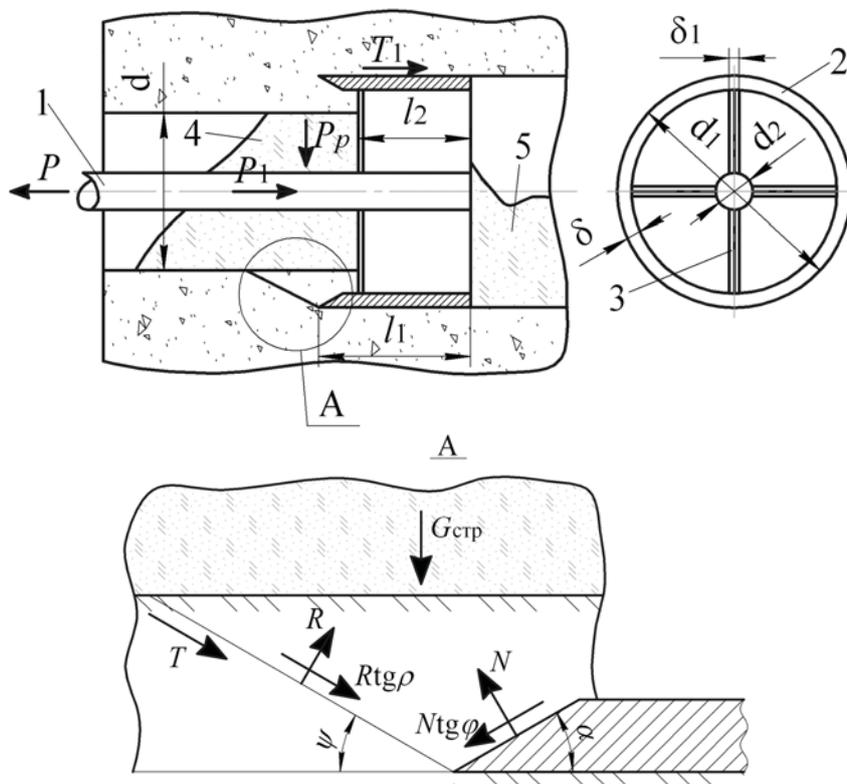


Рис. 2. Схема взаимодействия кольцевого ножа с грунтом в скважине: 1 – штанга; 2 – кольцевой нож; 3 – ребро; 4 – призма грунта; 5 – грунт, прошедший через отверстия в ноже;  $P$  – усилие, прикладываемое к ножу при резании грунта;  $P_1$  – усилие проталкивания разрушенного грунта через окна в ноже;  $P_p$  – распорное усилие, вызванное уплотнением грунта в призме усилием  $P_1$ ;  $T_1$  – трение обечайки ножа на стенки скважины;  $\alpha$  – угол заострения кромки ножа;  $\rho$  – угол внутреннего трения грунта;  $\varphi$  – угол внешнего трения грунта;  $T$  – сопротивление сдвигу отделяемого элемента грунта;  $N$  – нормальное давление на грунт лобовой грани заостренной кромки ножа;  $\psi$  – угол сдвига грунта

Изложенное позволило получить следующую зависимость для определения сопротивления перемещению кольцевого ножа при расширении скважины

$$P = 2\xi \operatorname{tg} \varphi \frac{l_2^2}{\alpha_1} E_p \frac{[(d_1 - 2\delta - d_2)(0,5\pi + \pi^2) - 2\delta]}{\pi(d_1 - 2\delta - d_2)} + p\pi d_1 l_1 \operatorname{tg} \varphi + \frac{n}{\alpha_1} \delta_1 l_2 E_p +$$

$$+ \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\sin(\alpha + \varphi + \psi + \rho)} \left[ \left\{ 2\xi^2 \frac{l_2^2}{\alpha_1} E_p \frac{[(d_1 - 2\delta - d_2)(0,5\pi + \pi^2) - 2\delta]}{\pi(d_1 - 2\delta - d_2)} + \right. \right.$$

$$+\delta \frac{\pi}{8} d_1 (d_1 - d)^2 (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \psi) \left. \right\} \sin(\rho + \psi) + c \frac{\pi}{4} \frac{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \psi - 1}}{\operatorname{ctg} \psi} (d_1^2 - d^2) \cdot \cos \rho \left. \right], \quad (2)$$

где  $\alpha_1$  – поправочный коэффициент, обычно 1,25;

$E_p$  – модуль деформации разрыхленного грунта, для первоначальных расчетов можно принимать 600–700 Н/см<sup>2</sup>;

$\xi$  – коэффициент бокового давления грунта;

$p$  – сопротивление грунта смятию, составляет 5-13 Н/см<sup>2</sup>;

$\varphi$  – угол внешнего трения стенки скважины;

$\rho$  – угол внутреннего трения грунта;

$n$  – количество ребер ножа;

$c$  – сцепление грунта в стенке скважины;

$\gamma$  – объемный вес грунта;

В формуле (2) принимать

$$d = \sqrt{d_1^2 - \frac{4}{\pi k_p} \left[ (d_1 - \delta)^2 - \frac{n \delta_1}{2} (d_1 - \delta - d_2) - d_2^2 \right]} \quad (3)$$

где  $k_p$  – коэффициент разрыхления срезанного грунта.

Используя равенства (2), (3) на рис. 3 представлены графики зависимости прикладываемого к кольцевому ножу усилия при резании грунтов в зависимости от диаметра ножей.

Как видно из представленных графиков, усилие расширения скважины с ростом диаметра кольцевых ножей увеличивается по возрастающей зависимости.

После расширения скважины кольцевым ножом внутри по всей ее длине остается разрыхленный грунт. Удаление его может осуществляться выталкиванием его нажимным диском. Рассмотрим происходящие при этом процессы.

На первом этапе по мере движения диска перед ним будет накапливаться грунт, пока не образуется призма волочения. При дальнейшем перемещении диска все сечение скважины заполняется грунтом, а грунт сжимается. Последующее перемещение диска приводит к тому, что возникающее давление диска настолько велико, что расположенный перед ним грунт не только сжимается, но и частично вытесняется в стенки скважины. Наконец, дальнейшее перемещение диска приводит к тому, что давление диска достигает максимальной величины, при которой весь грунт на отрезке перемещения диска вминается в стенки скважины. Далее происходит стабильный процесс очистки скважины от грунта.

На основании изложенного установлено, что для очистки скважины к нажимному диску необходимо прикладывать усилие

$$P_H = \frac{\pi P_o}{4 \xi} (d^2 - d_2^2), \quad (4)$$

где  $P_o$  – сопротивление грунта вдавливанию (70–150 Н/см<sup>2</sup>).

Зависимость усилия очистки скважины от ее диаметра представлена на рис. 4

При выборе величины  $P_o$  для разных грунтов следует помнить, что вдавливание происходит в уплотненный грунт. Согласно экспериментальным данным его физико-механические свойства после родильного уплотнения при проколе значительно меняются, в частности, прочностные характеристики повышаются в 1,5–2 раза относительно естественного состояния грунта.

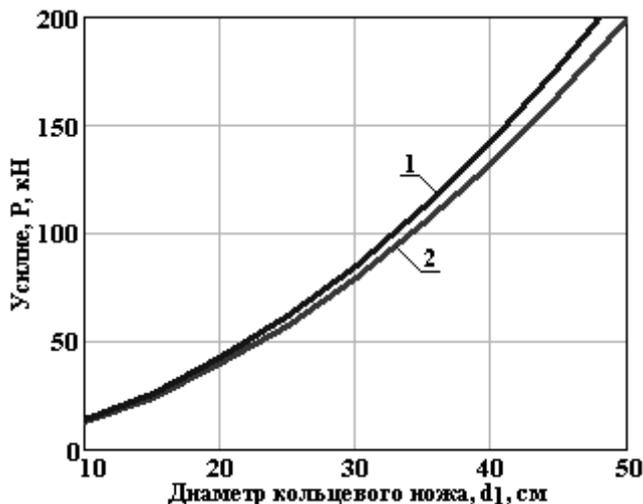


Рисунок 3 – Зависимость прикладываемого к кольцевому ножу усилия от диаметра:  
 1 – зависимость соответствует грунтовым условиям:  $\rho=20^\circ$ ;  $\varphi=18^\circ$ ;  $c=6 \text{ Н/см}^2$ ;  $\gamma=0,02 \text{ Н/см}^2$ ;  $\alpha=30^\circ$ ;  $p=5 \text{ Н/см}^2$ ;  $k_p=1,25$ ;  
 2 – зависимость соответствует грунтовым условиям:  $\rho=23^\circ$ ;  $\varphi=20^\circ$ ;  $c=4 \text{ Н/см}^2$ ;  $\gamma=0,021 \text{ Н/см}^2$ ;  $\alpha=30^\circ$ ;  $p=3 \text{ Н/см}^2$ ;  $k_p=1,3$

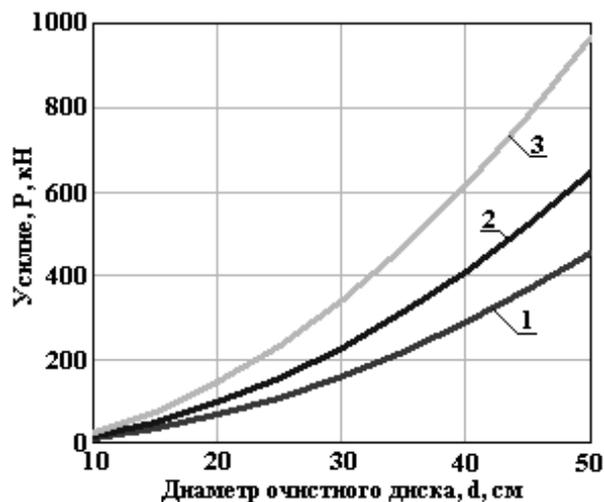


Рисунок 4 – Зависимость усилия очистки скважины от ее диаметра:  
 1 –  $P_\theta=70 \text{ Н/см}^2$ , 2 –  $P_\theta=100 \text{ Н/см}^2$ ,  
 3 –  $P_\theta=150 \text{ Н/см}^2$

Из графиков, приведенных на рис. 3 и 4, видно, что определяющим по трудоемкости будет усилие необходимое для очистки скважины от разрушенного грунта.

Расчеты по приведенным зависимостям показывают, что использование кольцевых ножей позволяет выпускаемыми прокольными установками получать скважины диаметром до 400 мм.

### Выводы

Получены расчетные зависимости (2) и (4) для определения сил сопротивления грунта резанию кольцевыми ножами при расширении скважины, образованной методом статического прокола. Целесообразно оснащать выпускаемые установки дополнительным оборудованием – кольцевыми ножами и очистными дисками.

### Список литературы

1. Патент України, №72790, МПК E02F5/18. Спосіб розширення горизонтальної свердловини / Олексин В. І., Супонев В. М., Каслін Н. Д., Руднев В. К.; заявник і патентовласник Олексин В. І., Супонев В. М., Каслін Н. Д., Руднев В. К.; заявл. 02. 03. 2012; опубл.27.08.2012, Бюл. № 16.
2. Руднев В. К., Супонев В. Н., Олексин В. И. Минимальная глубина заложения горизонтальных скважин для инженерных коммуникаций // Энергосбережение•Энергетика• Энергоаудит. – 2013. № 3. – С. 65–69.
3. Гилета В. П., Смоляницкий Б. Н. Проходк скважин с частичной экскавацией грунта / В. П. Гилета, Б. Н. Смоляницкий // Строит. и дор. машины. – 2001. – № 4. – С. 7–9.
4. Машины для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций: учеб. пособие / [Кравец С. В., Каслин Н. Д., Руднев В. К., Супонев В. Н.], под ред. В. К. Руднева. – Х.: ООО «Фавор», 2008. – 256 с.

5. Машины для земляных работ: навч. посібник / [Хмара Л. А., Кравець С. В., Нічке В. В., Назаров Л. В. та ін.]; під ред. Л. А. Хмари та С. В. Кравця. – Рівне – Дніпропетровськ – Харків. 2010. – 557 с.

6. Холодов А. М. Теоретическое выражение сопротивления грунта лобовому резанию широким плоским ножом / А. М. Холодов // Горные, строительные и дорожные машины. – 1965. – № 1. – С. 5 – 13.

7. Руднев В. К. Копание грунтов землеройно-транспортными машинами активного действия. – Х.: Вища школа, 1974. – 144 с.

### EXPANSION OF HORIZONTAL WELLS A RING KNIFE

V. K. RUDNEV, Professor, Doctor of Engineering Sciences  
V. N. SUPONEV, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor  
V. I. OLEKSYN, teaching assistant

*Built calculated dependence for determining the strength of the soil resistance to cutting circular knives while expanding the well after its preliminary form by static puncture.*

*Key words: extension of the well; puncture the soil, the strength of soil resistance to cutting circular knife.*

Поступила в редакцию 21.03 2013 г.