

**А.Н. Юрин, С.П. Кострома, В.В. Викторovich**  
*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: anton-jurin@rambler.ru*

## ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВУХФРЕЗЕРНОГО КАНАЛОКОПАТЕЛЯ

Обоснованы рациональных параметров и режимы работы двухфрезерного каналокопателя.

**Ключевые слова:** откосы мелиоративного канала, каналокопатель, рабочий орган.

**A.N. Jurin, S.P. Kostroma, V.V. Viktorovich**  
*RUE «SPC of NAS of Belarus for mechanization of agriculture»  
Minsk, Republic of Belarus  
e-mail: labmkr@yandex.ru*

The rational parameters and modes of operation of the two-cutter canal digger have been substantiated.

**Keywords:** slopes of the reclamation channel, canal digger, working body.

### Введение

Современное сельскохозяйственное производство требует постоянного проведения мелиоративных мероприятий, таких, как культуртехнические работы, строительство мелиоративных систем, сооружение водохозяйственных объектов. Выполнение вышеприведенных работ связано с большими капиталовложениями, затратами труда и материальных ресурсов. Надлежащую отдачу от сделанных вложений можно получить только при рациональной эксплуатации мелиорированных земель, мелиоративных и водохозяйственных систем и сооружений.

Общая площадь мелиорированных земель в республике составляет 3,4 млн. гектаров, из них 2,9 млн. гектаров занимают сельскохозяйственные земли, в том числе пахотные – 1,4 млн. гектаров и луговые – 1,5 млн. гектаров.

Типичным и важнейшим элементом мелиоративных систем являются различного назначения каналы и водоприемники как наиболее дешевый способ осушения переувлажненных земель. Каналы могут также выполнять функции элементов противопаводковых систем, применяющихся для борьбы с затоплением земель[1].

Способ строительства канала и вид применяемых машин зависят, помимо прочего, от назначения канала, профиля (трапециевидный, параболический), габаритных размеров и крепления.

В настоящее время в республике чаще всего строительство каналов производится одноковшовыми экскаваторами с различной формой ковшей, при этом не соблюдаются профили канала, что приводит к необходимости дополнительных работ по планировке дна и откосов канала, разравниванию кавальеров на бермах канала.

Мировая практика показывает, что для прокладки мелиоративных каналов используются двухфрезерные каналокопатели непрерывного действия, не имеющие недостатков выше описанного способа строительства канала.

Принимая во внимание всю важность поддержания работоспособности существующей мелиоративной системы и возможный экономический ущерб от несоблюдения требований эксплуатации водохозяйственных объектов, можно утверждать, что разработка двухфрезерного каналокопателя является актуальной задачей.

### Основная часть

В республике Беларусь наиболее применяемые коэффициенты заложения откосов для различных грунтов осушительных каналов при глубине канала 1,0-2,0 м приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. – Коэффициенты заложения откосов для различных грунтов осушительных каналов

Грунты	Коэффициент заложения откосов
Торф малоразложившийся	0,5 – 1,0
Торф разложившийся	1,0 – 1,5
Плотная глина	0,75 – 1,0
Суглинок	1,0 – 1,25
Супесь	1,25 – 1,5
Песок	2,5 – 3,0

Ширину каналов определяют исходя из гидравлических расчетов согласно пропускаемому расходу воды.

Минимально допустимая ширина дна проводящих каналов принимается обычно 0,25 – 0,5 м [2].

При конструировании каналокопателей необходимо ориентироваться на следующие типоразмеры открытых осушительных каналов, приведенные в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. – Типоразмеры каналов открытой осушительной сети

Каналы	Глубина, м		Уклон дна	Ширина дна, м	Коэффициент заложения откоса
	минимальная	максимальная			
Осушители	1,0	1,7	0,0003 – 0,01	0,2	0,5 – 1,5
Коллекторы	1,3	2,5	0,0003 – 0,005	0,4	1,0 – 2,0
Магистральные	1,7	3,5	0,0002 – 0,005	0,6 и более	2,0 – 2,5

В осушительных каналах глубиной 1,0 – 1,7 м и 1,3 – 2,5 м преобладают торфяные, песчаные или супесчаные грунты [3]. При этом каналы всех типоразмеров имеют различное заложение откосов, что влияет на устойчивость откосов каналов при выполнении технологического процесса строительства канала двухфрезерным каналокопателем.

Как следует из обзора аналогов зарубежных и отечественных каналокопателей максимальная глубина канала при строительстве которого, может быть использован двухфрезерный каналокопатель является 1,6–1,7 м.

Для определения рациональных параметров и режимов работы двухфрезерного каналокопателя принимаем параметры канала:

- глубина канала 1,6 м;
- угол заложения откосов 1,0;
- ширина дна канала 0,3 м.

К основным параметрам и режимам работы двухфрезерного каналокопателя относятся геометрические параметры рабочих органов, количество режущих и транспортирующих элементов, линейная скорость, направление и скорость вращения рабочих органов.

Направление вращения фрез принимаем прямым во избежание забрасывания разработанного грунта в отрываемый канал и для уменьшения мощности на трение между откосом канала и рабочим органом.

Окружная скорость фрез должна обеспечивать выемку и разброс грунта по обе стороны прокладываемого канала на расстояние, достаточное для размещения его равномерным слоем средней толщины 0,10–0,20 м. При такой толщине в канал могут попадать поверхностные воды, и слой такой толщины может быть разработан почвообрабатывающими сельскохозяйственными машинами.

Необходимую дальность разбрасывания грунта двухфрезерным каналопателем определяем из условия равенства площади поперечного сечения канала и поперечных площадей разбрасываемого грунта с учетом его разрыхления в процессе разработки (рис. 1).

$$S_k \cdot K_p = S_{cl}, \quad (1)$$

где  $S_k$  – площадь поперечного сечения канала, м<sup>2</sup>;

$K_p$  – коэффициент разрыхления;

$S_{cl}$  – площадь поперечного слоя грунта, м<sup>2</sup>.

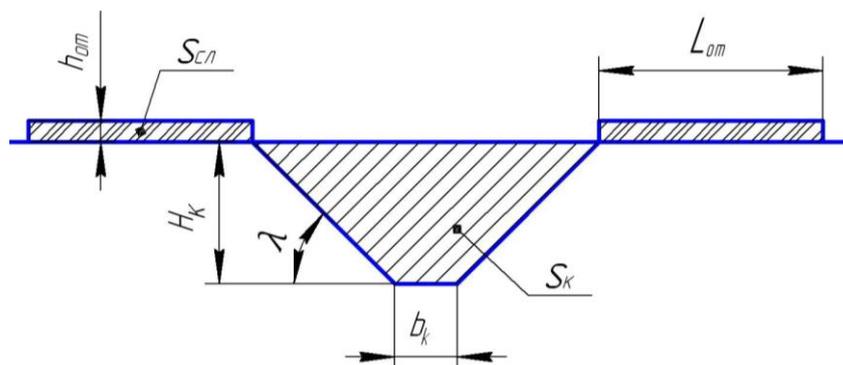


Рис. 1. Схема к определению дальности отбрасывания грунта двухфрезерным каналопателем

Площадь поперечного сечения канала, и площадь поперечного сечения разбрасываемого грунта можно выразить из формулы

$$(2b_k + 2H_k \operatorname{ctg} \lambda) H_k K_p / 2 = 2 l_{om} h_{om}, \quad (2)$$

где  $b_k$  – ширина канала по дну, м;

$H_k$  – глубина канала, м;

$\lambda$  – угол наклона откоса канала к горизонту, град;

$l_{om}$  – длина слоя грунта, м;

$h_{om}$  – толщина слоя грунта, м.

Площадь поперечного сечения разбрасываемого грунта будет равна

$$S_k = (b_k + H_k \operatorname{ctg} \lambda) H_k, \quad (3)$$

Необходимая дальность разбрасывание грунта

$$l_{om} = (b_k + H_k \operatorname{ctg} \lambda) \cdot H_k \cdot k_p / 2h_{om}, \quad (4)$$

При инерционной разгрузке окружные скорости фрез должны находиться в пределах 8–13 м/с.

При окружной скорости рабочих органов менее 7 м/с не обеспечивается необходимая дальность разбрасывания и толщина разбрасываемого слоя велика. Кроме того, следует учитывать, что для чистого среза растительности и древесины необходимы окружные скорости порядка 10–12 м/с [4]. При увеличении  $v_{окр}$  свыше 15 м/с сильно возрастает сопротивление воздуха разбрасываемому грунту, поэтому принимаем  $v_{окр}=15$  м/с. При проектировании каналокопателей необходимо, чтобы рабочий орган имел регулируемую скорость для обеспечения высокопроизводительной работы в различных грунтах. Для нарезания осушительных каналов в торфяных грунтах следует принимать верхние пределы  $v_{окр}$ , так как при этом высокие скорости не вызывают повышенного изнашивания режущих элементов.

Основным рабочим органом двухфрезерного каналокопателя является фреза. Диаметр фрезы по концам ножей должен быть таким, чтобы обеспечить необходимый угол разгрузки  $\theta$ . Угол разгрузки выбирается с таким расчетом, чтобы грунт, выбрасываемый лопаткой, не попал обратно в канал. Это условие выполняется при  $\theta = 50 - 65^\circ$  [4]. Разгрузка начинается в точке  $B$  (рис. 2), когда наружная кромка лопатки подходит к бровке, и заканчивается в верхней точке  $C$ .

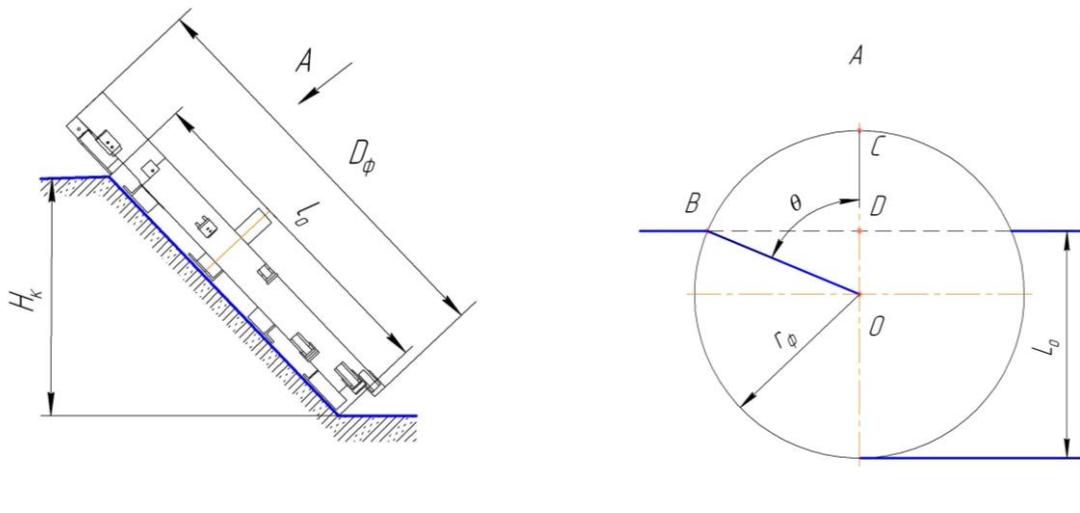


Рис. 2. Схема к определению диаметра фрезы

Необходимый диаметр фрезы определим из треугольника  $OBD$ . На основании рисунка 2 запишем

$$l_o - r_\phi = r_\phi \cdot \cos \theta, \quad (5)$$

где  $l_o$  — длина откоса, м;

$r_\phi$  — радиус рабочих органов, м.

Отсюда

$$r_\phi = l_o / (1 + \cos \theta), \quad (6)$$

$$l_o = H_K / \sin \lambda, \quad (7)$$

Тогда

$$r_\phi = H_K / [(1 + \cos \theta) \sin \lambda], \quad (8)$$

Тогда диаметр фрезы будет равен

$$D_{\phi} = 2r_{\phi}, \quad (9)$$

Число ножей определяем таким, чтобы обеспечить подачу на нож для минеральных грунтов, равную 4 - 8 и для торфяных грунтов — 6-10 мм [4].

Определим шаг ножей

$$T_n = \pi D_{\phi} / z_n, \quad (11)$$

где  $z_n$  — число ножей, шт.

Подачу на нож определяется по формуле

$$c = v_n T_n / \mathcal{G}_{окр} = \pi D_{\phi} \Pi_T / (v_{окр} S_k z_n), \quad (12)$$

где  $\Pi_T$  — техническая производительность двухфрезерного каналокопателя, м<sup>3</sup>/с;

$S_k$  — площадь поперечного сечения канала, м<sup>2</sup>.

Тогда требуемое число ножей определяем из выражения

$$z_n = \pi D_{\phi} \Pi_T / (v_{окр} S_k c), \quad (13)$$

Ширина ножей  $b_n$  должна быть менее 0,08 м, так при увеличении  $b_n$  до 0,08 м усилие резания растет, а удельное сопротивление снижается, затем остается практически постоянным [5].

Ширину фрезы можно определить по формуле

$$b_{\phi} = D_{\phi} / (15...20), \quad (15)$$

Принятое значение  $b_{\phi}$  должно удовлетворять условию размещения фрез на дне канала (рис. 3).

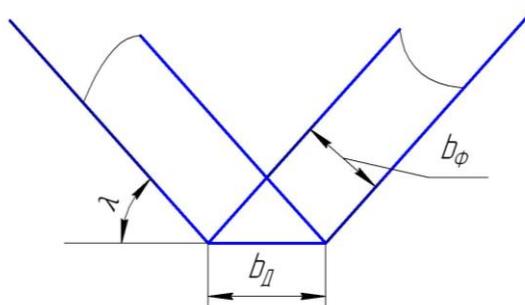


Рис. 3. Схема размещения фрез на дне канала

Края фрез не будут соприкасаться, если выполняется данное условие

$$b_{\phi} \leq b_k / (2 \sin \lambda), \quad (16)$$

Геометрия режущей части ножей показана на рисунке 4.

Положение ножа и величина угла отклонения  $\alpha$  от радиального направления влияют на скорость перемещения грунта вдоль лопатки. На частицу грунта действуют центробежная сила  $F_{ц}$ , сила тяжести  $G$ , сила Кориолиса  $F_K$  сила трения  $F_{тр}$  (рис. 4).

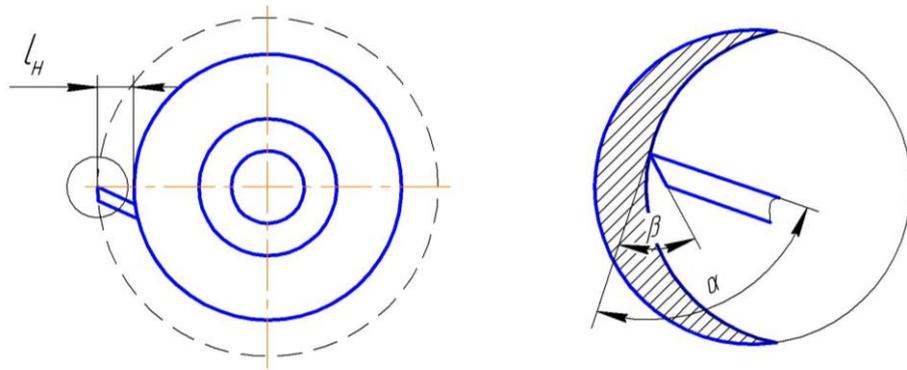


Рис.4. Геометрия режущей части ножа

Как следует из схемы сил (рисунок 5), с увеличением  $\alpha$  уменьшается сила трения грунта по лопатке, повышаются скорость перемещения, скорость трения грунта по лопатке, повышаются скорость перемещения, скорость выброса и дальность отбрасывания, т.е. улучшается транспортирующая способность рабочих органов и уменьшается энергоемкость процесса зачемления грунта между лопаткой и поверхностью забоя. Поэтому принимаем для фрезерных рабочих органов с большим диаметром, предназначенных для рытья каналов глубиной свыше 1,5 м, фрезы с углом отклонения от радиального направления  $\alpha = 20...30^\circ$  [5].

Ширина лопаток  $b_L$  принимается меньше ширины ножей и рассчитывается по формуле

$$b_L = b_n - 0,02, \quad (17)$$

При известной ширине лопаток  $b_L$ , длину их определяют из условия обеспечения заданной производительности по выносной способности, т. е. при известных размерах лопатки  $b$  и  $\alpha$ , число лопаток  $z_L$ , угловой скорости фрезы  $\omega$  должен быть обеспечен выброс разрыхленного грунта, поступающего на лопатки. Число лопаток  $z_L$  принимаем равным числу ножей в одном ряду (рис.5).

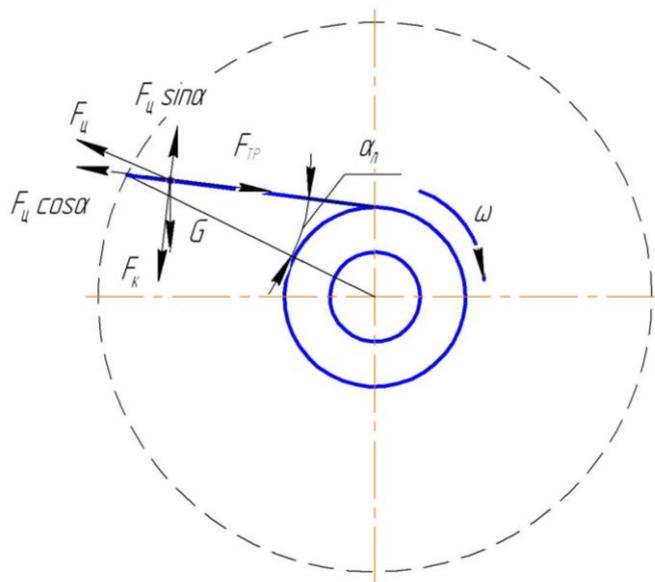


Рис. 5. Схема сил, действующая на грунт, расположенный на лопатке

При этом лопатки должны обеспечивать производительность  $\Pi_L$ , которая определяется по формуле

$$\Pi_L = \Pi_T - \Pi_H, \quad (18)$$

где  $\Pi_T$  – техническая производительность, обеспечиваемая ножами одной фрезы, м<sup>3</sup>/ч;  
Производительность лопатки по выносной способности определим следующим образом

$$\Pi_{л} = S_{zp}^л \cdot v_{цт} \cdot k_n / k_p, \quad (19)$$

где  $S_{zp}^л$  – площадь поперечного сечения в радиальном направлении грунта, находящегося между лопатками фрезы, м<sup>2</sup>;

$v_{цт}$  – окружная скорость центра тяжести сечения грунта.

В приведенную формулу подставим значение  $S_{zp}^л$  и  $v_{цт}$

$$\Pi_{л} = b_l \cdot l_l \cos \alpha_l \omega \cdot [r_l - (l_l \cos \alpha_l) / 3] k_n / k_p. \quad (20)$$

Преобразуя данное выражение, получим

$$(l_l^2 \cdot b_l \cos^2 \alpha_l \omega \cdot k_n / 3k_p) - (l_l \cdot b_l \cos \alpha_l \omega \cdot k_n / 3k_p) + \Pi_{л} = 0. \quad (21)$$

При этом  $\Pi_{л}$  можно найти из выражения

$$\Pi_{л} = \Pi_T - S_k \cdot v = \Pi_T - 2H_k b_n v_n / \sin \lambda. \quad (22)$$

Скорость рабочего передвижения  $v_n$  рассчитывается по формуле

$$v_n = \frac{\Pi_T}{S_k}, \text{ м/с}, \quad (23)$$

В результате расчетов, основанных на конструктивных параметрах прокладываемого канала, обоснованы рациональные параметры и режимы работы двухфрезерного каналокопателя, обеспечивающего прокладку и формирование требуемого профиля мелиоративного канала, выражающиеся в следующих показателях:

а) конструктивные параметры рабочих органов двухфрезерного каналокопателя:

- диаметр рабочего органа по концам ножей  $D_\phi = 3$  м;
- ширина рабочего органа  $b_\phi = 0,2$  м;
- число ножей на рабочем органе  $z_n = 6$  шт;
- число лопаток  $z_l = 6$  шт;
- ширина лопатки  $b_l = 0,06$  м;
- длина лопатки  $l_l = 0,28$  м.

б) режимы работы двухфрезерного каналокопателя:

- окружная скорость рабочего органа  $v_{окр} = 15$  м/с;
- угловая скорость рабочего органа  $\omega = 10$  с<sup>-1</sup>;
- номинальная скорость рабочего передвижения  $v_n = 0,064$  м/с.

### **Заключение**

В результате приведенной работы обоснованы рациональные параметры и режимы работы двухфрезерного каналокопателя, обеспечивающего прокладку и формирование профиля мелиоративного канала заданными параметрами. Полученные результаты позволят обеспечить техническую производительность двухфрезерного каналокопателя около 700 м<sup>3</sup>/ч.

### **Список использованных источников**

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 11 марта 2016 г. № 196 о государственной программе развития аграрного бизнеса в республике Беларусь на 2016–2020 годы и внесении изменений в постановление совета министров республики Беларусь от 16 июня 2014 г. № 585.
2. Жилина, Г.А. Исследование технологического процесса очистки каналов мелкой осушительной сети. Диссертация. – Минск, 1953. –110 с.
3. Сергеев, Е.М. Грунтоведение / Е.М. Сергеев. – Москва, 1959. –335 с.
4. Мажугин, Е. И. Мелиоративные машины. Основы теории и расчета: учеб. пособие/ Е.И. Мажугин, А.Н. Карташевич. – Горки : БГСХА, – 2008. –160 с.