

Лекция 2

Способы разработки грунта и теория резания грунтов

1. Способы разработки грунта.
2. Понятие о резании и копании грунтов. Физическая сущность процесса резания.
3. Схема сил, действующих на рабочий орган в процессе резания.

- **Способы разработки грунта.**

- В настоящее время применяют 4 способа механизированной разработки грунтов:
- 1) механический;
- 2) гидравлический;
- 3) взрывной;
- 4) комбинированный (мех+взрыв, мех+гидравл).
- Основным способом является механический.

• Механический способ разработки грунтов

- Механический способ разработки заключается в отделении грунта от массива резанием с помощью землеройных машин (экскаваторов) или землеройно-транспортных машин (бульдозеров, скреперов, грейдеров), осуществляющие копание грунта и



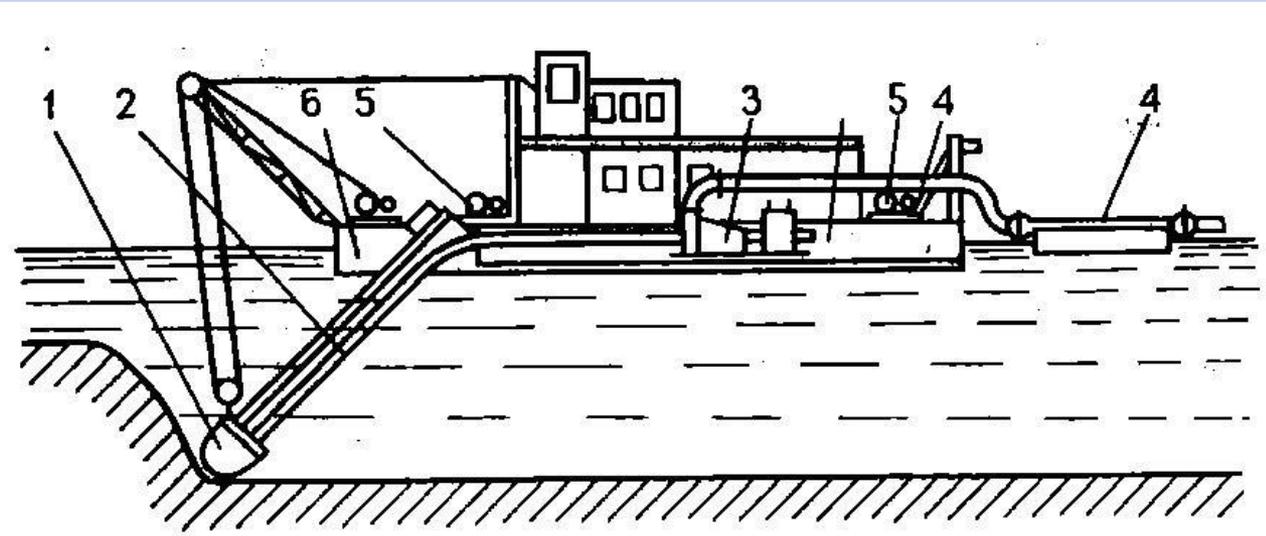
• Основные процессы механической разработки грунта

- Основные процессы механической разработки грунта:
 - - рыхление;
 - - разработка;
 - - транспортирование;
 - - отсыпка;
 - - разравнивание;
 - - уплотнение;
 - - планирование откосов и площадей.

- **Гидромеханизированный способ разработки грунта**

- Гидромеханический способ основан на размывании грунта водяной струёй гидромонитора или всасывании разжиженного грунта земснарядом. Гидромеханизированный способ разработки грунта применяется при наличии вблизи карьера мощного источника водоснабжения. Сущность метода заключается в размыве грунта и подаче его к месту отсыпки насыпи за счет кинетической энергии. Общий технологический цикл включает размывку грунта в карьере, транспортирование водогрунтовой массы к месту возведения насыпи; послойное

- Гидромеханизированный способ разработки грунта



- Земснаряд

- **Разработка грунта взрывным способом**

Разработка грунта взрывным способом применяется в строительстве для разработки выемок, рыхления скальных пород и мерзлых грунтов, при сносе строений и т. д.

Комплексный способ разработки грунта взрывным способом включает: устройство мест установки зарядов (бурение скважин, шпуров), подготовки и установки зарядов взрывчатых веществ, снабженных средствами взрывания, подрыв зарядов и погрузка взорванного грунта.

• Разработка грунта взрывным способом



Понятие о резании и копании грунтов.

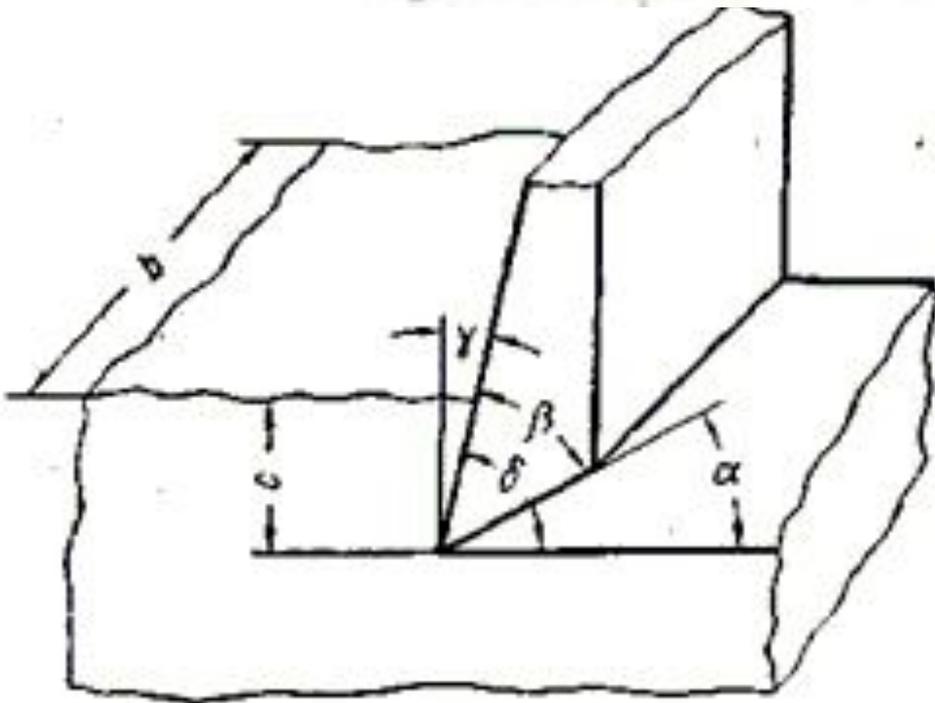
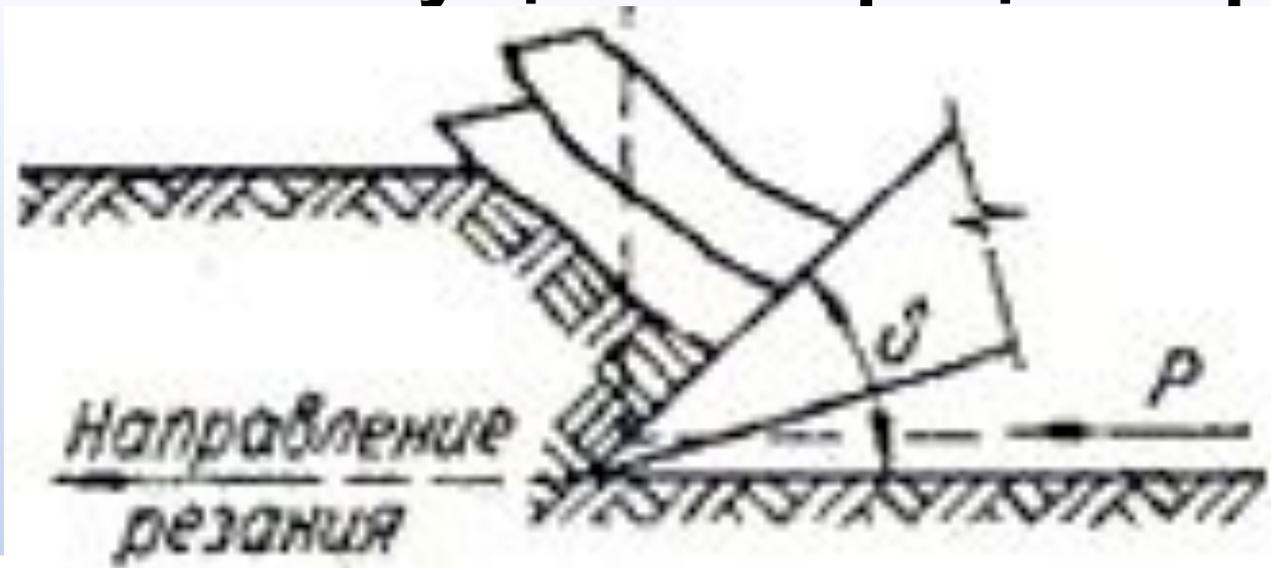
Физическая сущность процесса резания.

Рабочие органы отделяют грунт от массива резанием и копанием.

- **Резание** — процесс отделения грунта от массива режущей частью рабочего органа.
- **Копание** — это совокупность процессов, включающих резание грунта, перемещение срезанного грунта по рабочему органу и впереди его в виде призмы волочения, а у некоторых машин перемещение грунта внутри рабочего органа.
- Сопротивление грунта копанию в 1,5...2,8 раза больше, чем сопротивление грунта резанию.

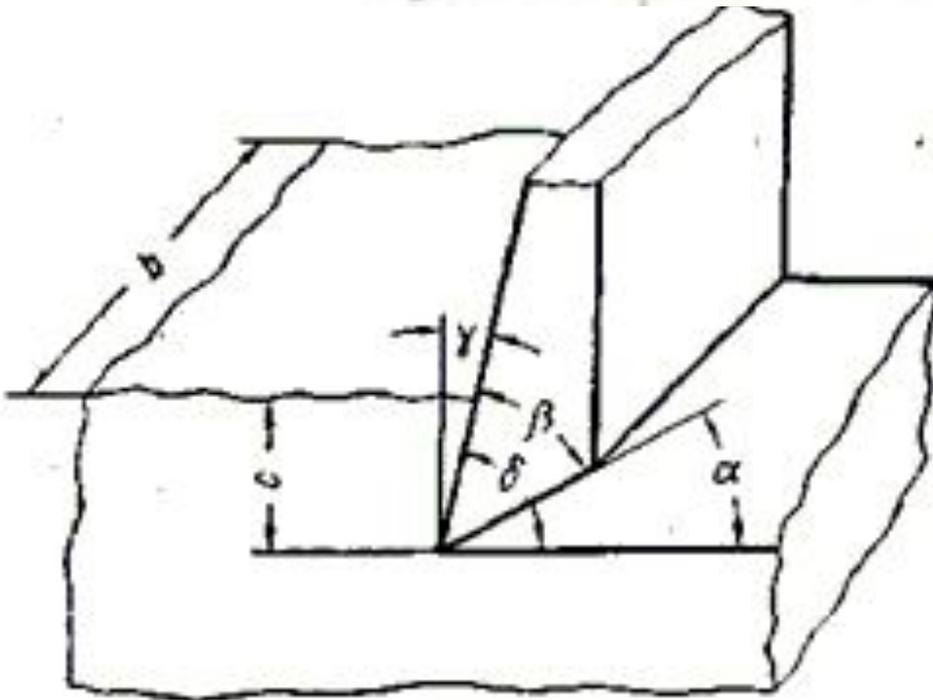
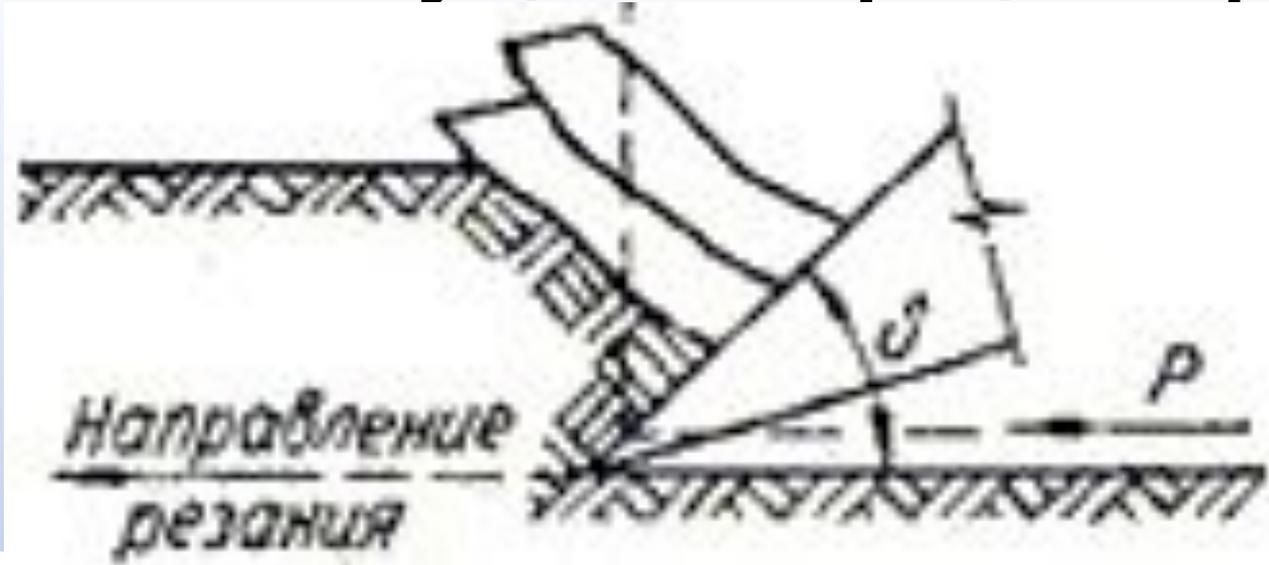
- **Физическая сущность процесса резания**
 - *В физическом понимании – это один из способов механического разрушения грунтов.*
 - *В технологическом отношении, под резанием грунтов подразумевается процесс отделения от грунтового массива кусков или слоев (стружек) инструментом клинообразной формы.*

• Физическая сущность процесса резания



- Параметры ножей:
- длина режущей кромки b ,
- угол заострения β ,
- угол резания δ (угол между передней гранью и касательной к траектории движения),
- задний угол α (угол между задней гранью и касательной к траектории движения)

• Физическая сущность процесса резания



• Параметры ножей:

• b - ?,

• β - ?,

• δ - ?,

• α - ?

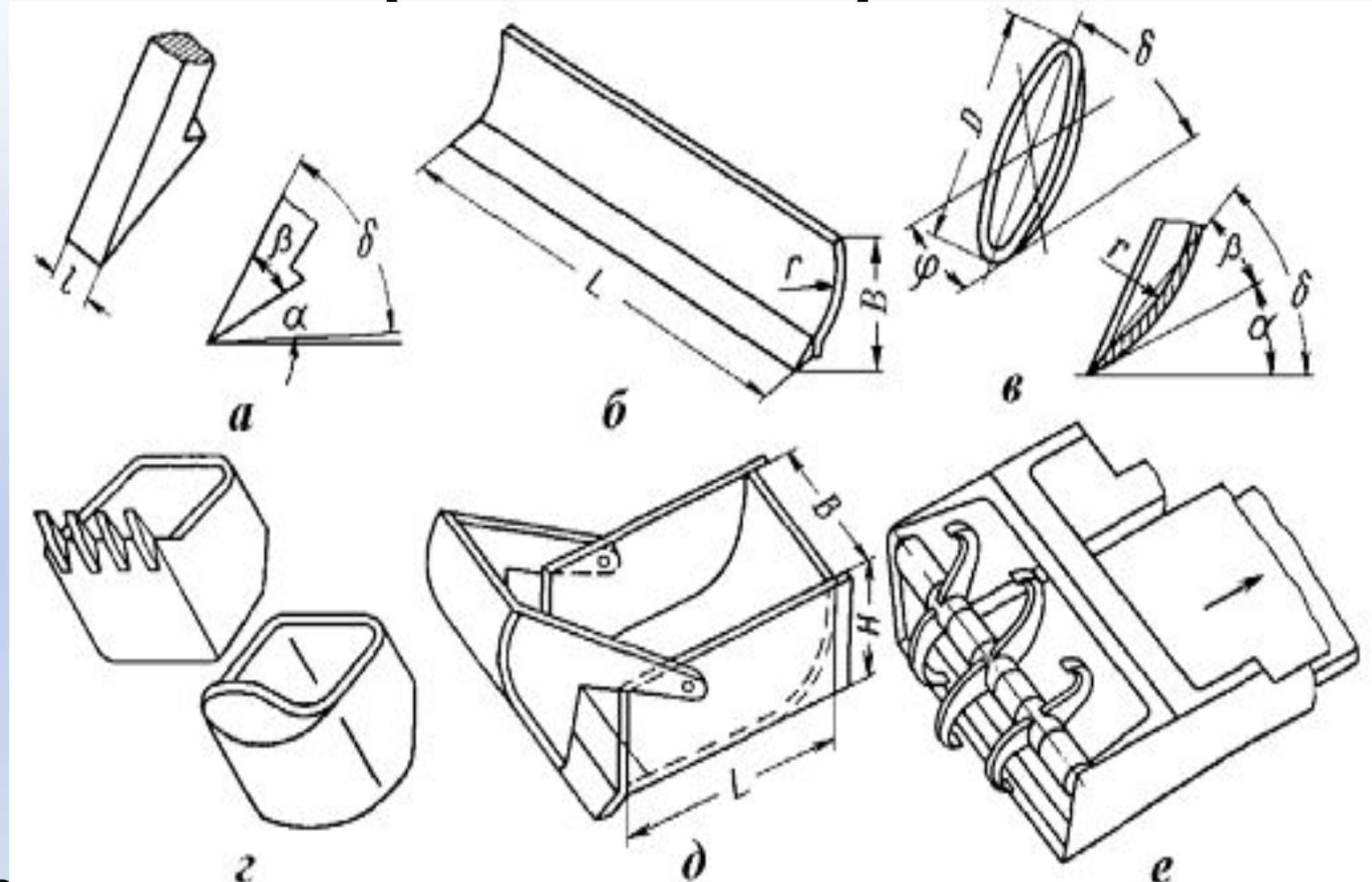
• γ - ?

• c - ?.

• Физическая сущность процесса резания

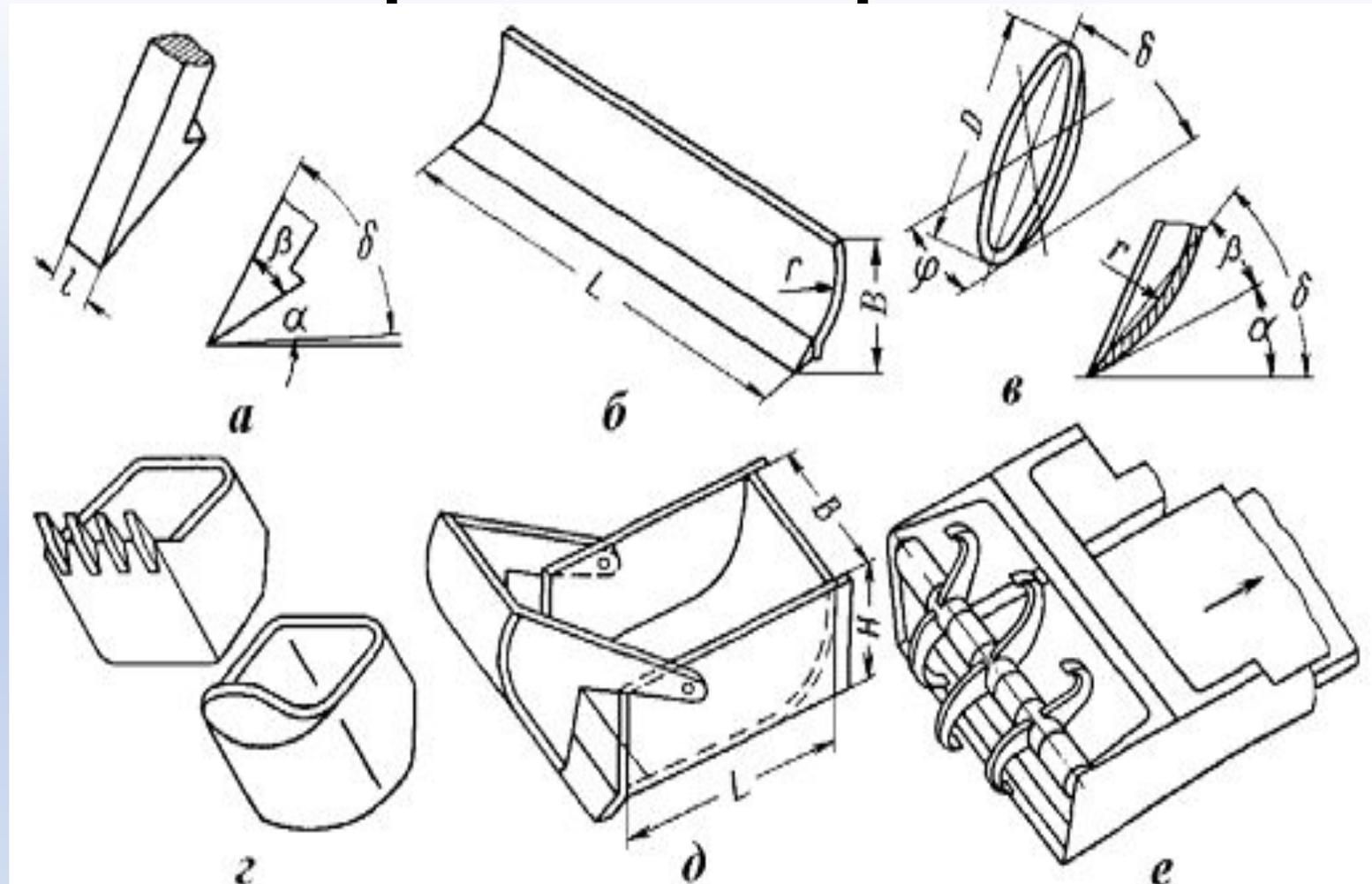
- На процесс взаимодействия рабочего органа землеройной машины с грунтом существенное влияние оказывают следующие факторы:
 - - физико-механические свойства грунта,
 - - конструкция, геометрические параметры и состояние рабочего органа,
 - - режимы работы рабочего органа.

• Рабочие органы землеройных машин



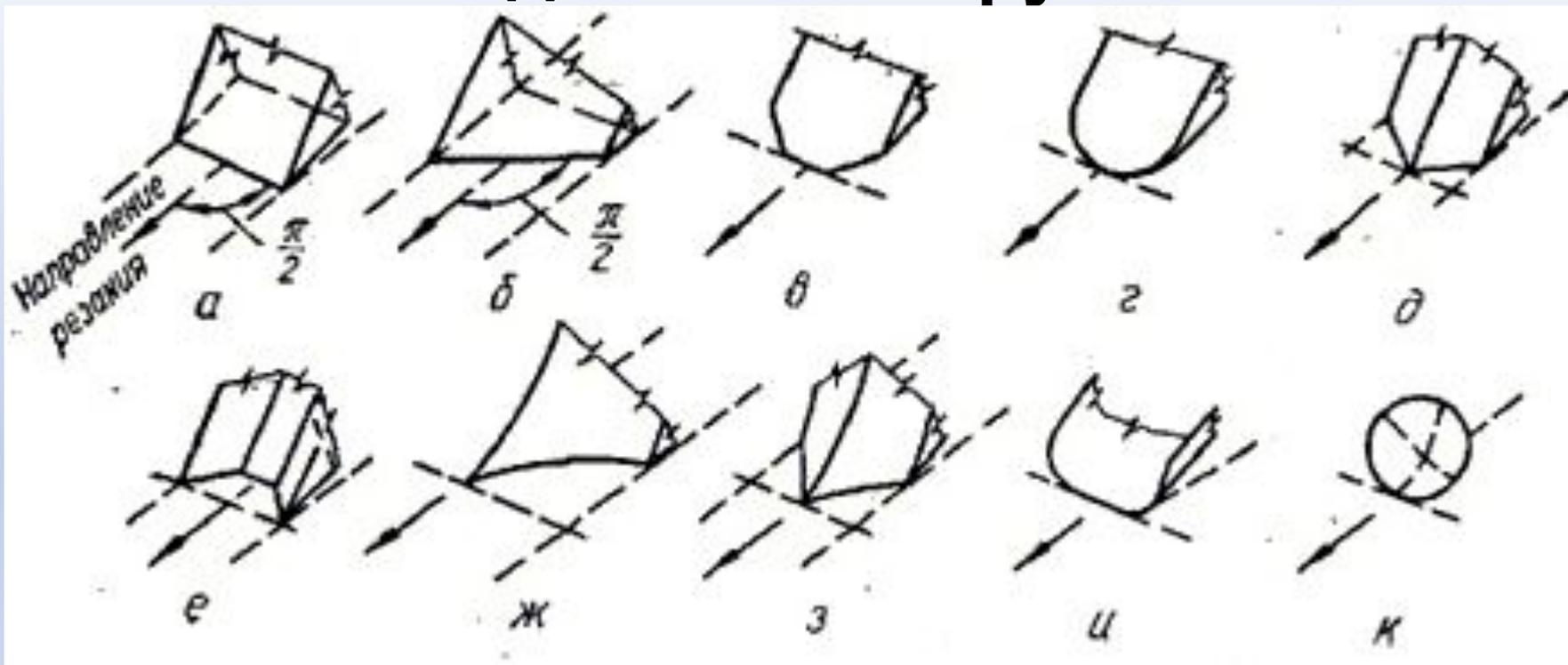
- а – зуб, б – ствол с режущим полком, в – дисковый полк, г – ковш экскаватора с зубьями и ковш экскаватора с полукруглой режущей кромкой; д – ковш скрепера; е – рабочий орган землеройной машины с роторным рыхлителем

• Рабочие органы землеройных машин



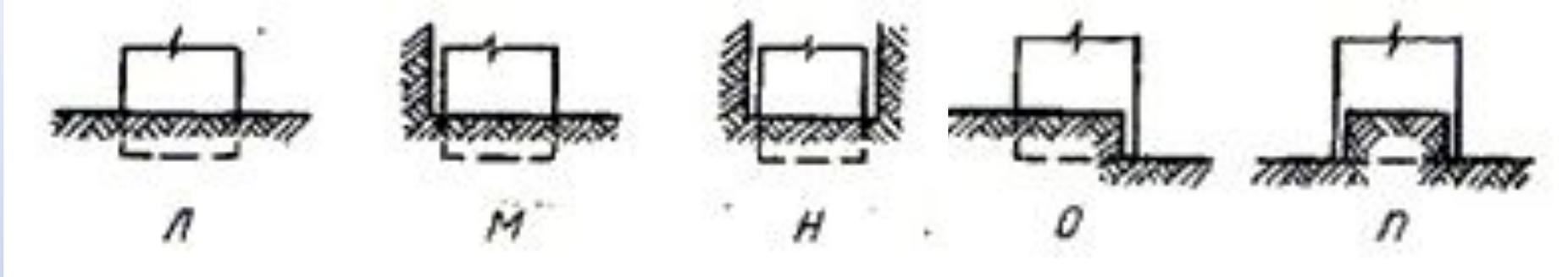
• а — ; б — ; в — ; г — ; д — ; е — ?.

• Разновидности резания грунтов с отделением стружки



а — прямоугольное плоским клином; б — косоугольное плоским клином; в — прямоугольное плоским клином с режущей кромкой, очерченной по ломаной линии; г — то же, по выпуклой кривой; д, е — двугранным и трехгранным ножами; ж, з, к - косоое криволинейным ножом; и — прямоугольное криволинейным ножом.

• Разновидности резания грунтов с отделением стружки



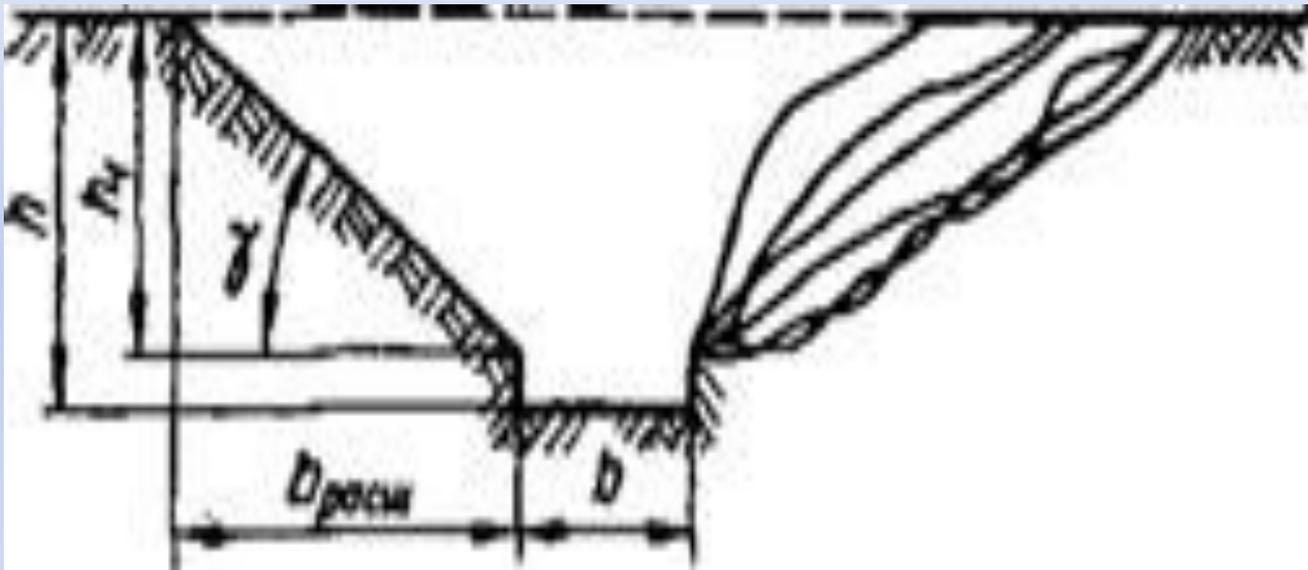
- л — заблокированное прямоугольное; м — прямоугольное, с одной поверхностью бокового среза; н — то же, с двумя поверхностями бокового среза; о — прямоугольное полусвободное; п — свободное прямоугольное.

• В зависимости от положения режущего инструмента в грунтовом массиве основными разновидностями процесса резания являются

- **блокированное и полусвободное.**

• Процесс блокированного резания

- В процессе блокированного резания грунт разрушается в пределах прорези, ширина которой на поверхности массива больше ширины ножа.



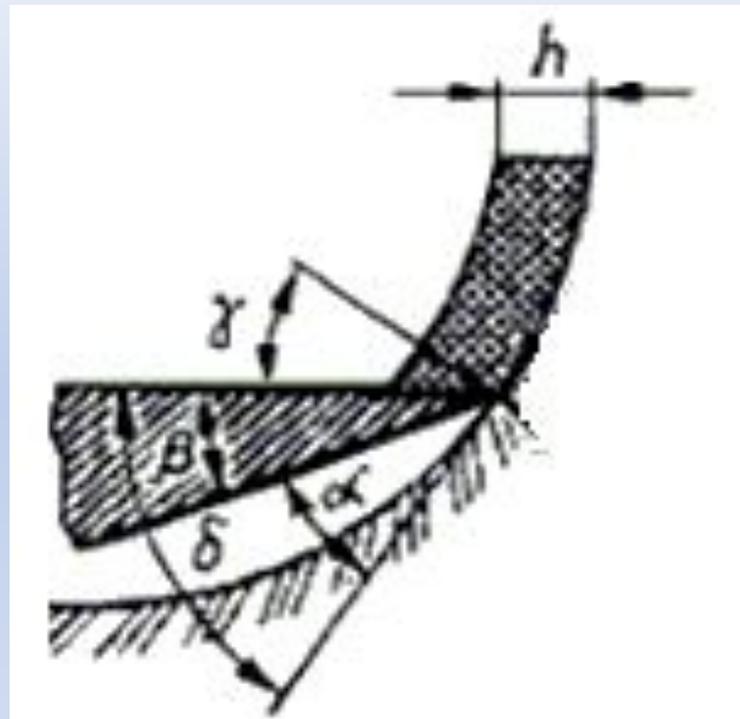
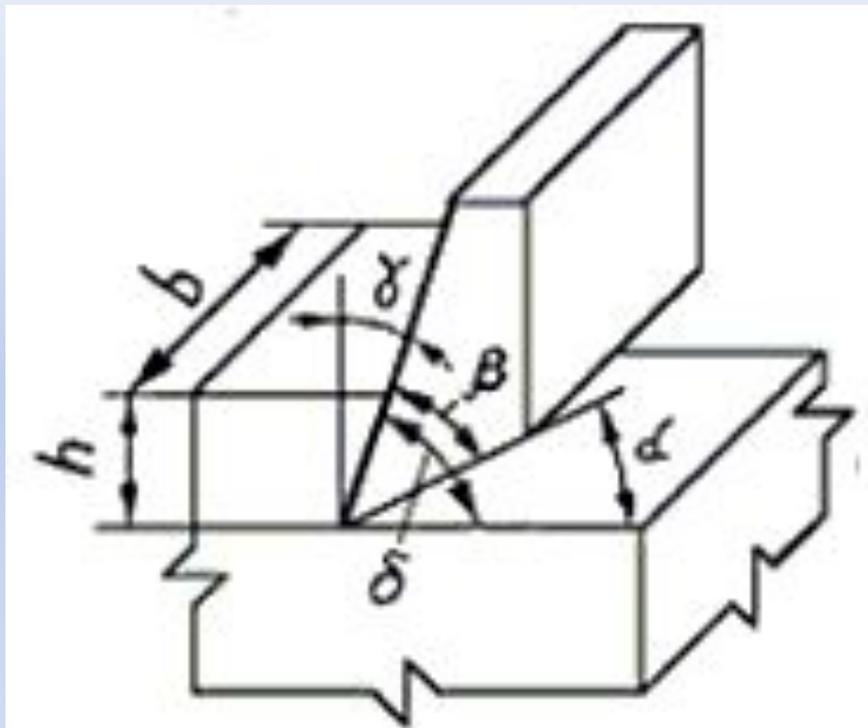
- Схема поперечного сечения прорези (справа показаны контуры прорези для ряда грунтов):
 b — ширина среза; h — толщина среза (глубина резания); h_1 , глубина расширяющейся части прорези; $b_{расш}$ — расширение прорези; γ — угол наклона боковой поверхности прорези.

• Резание грунтов с отделением стружки

- При отделении грунта от массива механическим способом рабочему органу землеройной машины сообщаются обычно два движения — вдоль (главное движение) и поперек (движение подачи) срезаемой стружки грунта, которые могут выполняться раздельно или одновременно.

Параметры режущей части рабочего органа

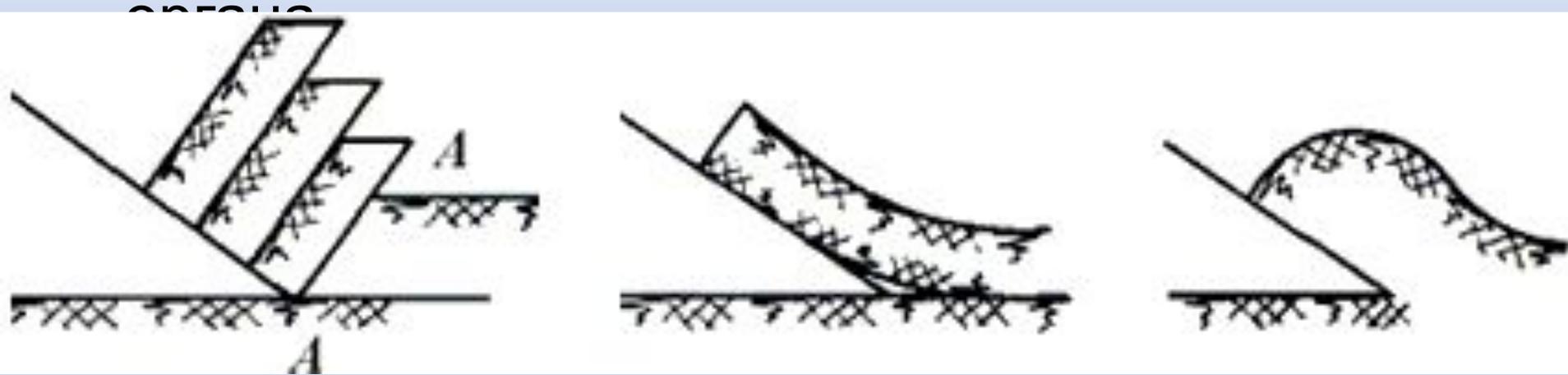
Эффективность процесса резания обеспечивается при оптимальных углах резания и рациональной геометрии режущего инструмента.



Оптимальные значения угла резания δ составляют $30...32^\circ$ для легких грунтов и $40...43^\circ$ для тяжелых; угла заострения $\beta = 25...27^\circ$ для легких и $32...35^\circ$ для тяжелых грунтов. Задний угол принимают равным не менее $6...8^\circ$.

• Копание грунта

- При движении рабочий орган воздействует на грунт своей передней кромкой. Грунт уплотняется и в нем возникают напряжения, увеличивающиеся по мере движения рабочего



- Когда напряжения в грунте достигают значений, превосходящих сопротивление разрушению, грунт сдвигается по плоскости AA, в которой эти напряжения максимальны

• Классификация грунтов

- Для нормирования экскавации грунтов в летних и зимних условиях необходим критерий сопротивляемости грунтов разработке в зависимости от их физического состояния.
- Таким критерием является шкала сопротивляемости грунтов, оцениваемая по числу ударов (числу C) динамического плотномера.
- Эта шкала является основой для нормирования производительности и расценок при экскавации грунтов. Число C входит в формулы, предложенные проф. А. Н. Зелениным для определения усилий резания грунтов различными рабочими органами землеройных машин.

•Классификация грунтов по трудности разработки

Нескальные мерзлые и немерзлые грунты разбиты на восемь категорий по числу ударов (числу С) динамического плотномера (ударника) ДорНИИ.

Категория грунта определяется числом ударов, которые необходимы для погружения в грунт на глубину 10 см цилиндрического стержня плотномера площадью 1 см² под действием груза весом 25 Н, падающего с высоты 0,4 м и производящего за каждый удар работу в 10 Дж.

Категория немерзлого грунта	I	II	III	IV
Число ударов, С	1...4(3)	5...8(6)	9...16(12)	17...35(25)
Категория мерзлого грунта	V	VI	VII	VIII
Число ударов С	35...70(50)	70... 140(100)	140...280(200)	280...560(400)

•Классификация грунтов по трудности разработки

- Между усилием резания P и числом C существует прямопропорциональная зависимость *независимо от категории грунта, его гранулометрического состава и влажности.*

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{P_1}{P_2}$$

- Эта формула позволяет по известному усилию P и числу C_1 для одного грунта при резании его *любым* рабочим органом определить усилие резания P_2 для другого грунта с *любым другим* значением C_2 , *не производя резания.*

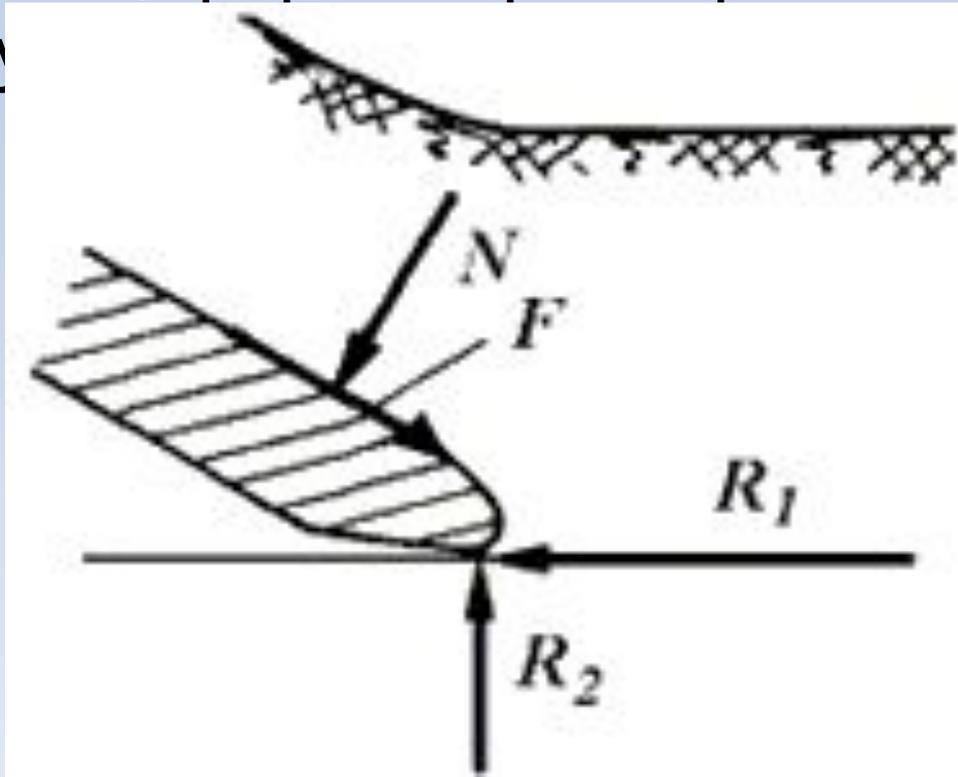
•Классификация грунтов по трудности разработки

- В одну и ту же категорию в зависимости от влажности могут войти и супеси и глины. С другой стороны, *один и тот же грунт* в зависимости от его влажности может быть отнесен к различным категориям. Четыре группы этой классификации охватывают все многообразие грунтов, объединяя их по действительным величинам сопротивления резанию с помощью величины **C**, учитывающей гранулометрический состав и влажность грунтов.

• Силы, действующие на рабочий орган

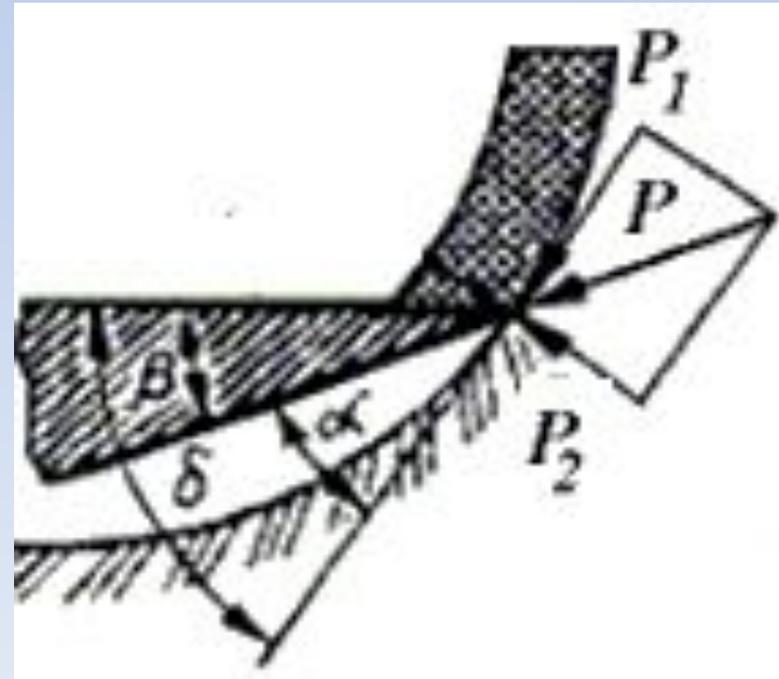
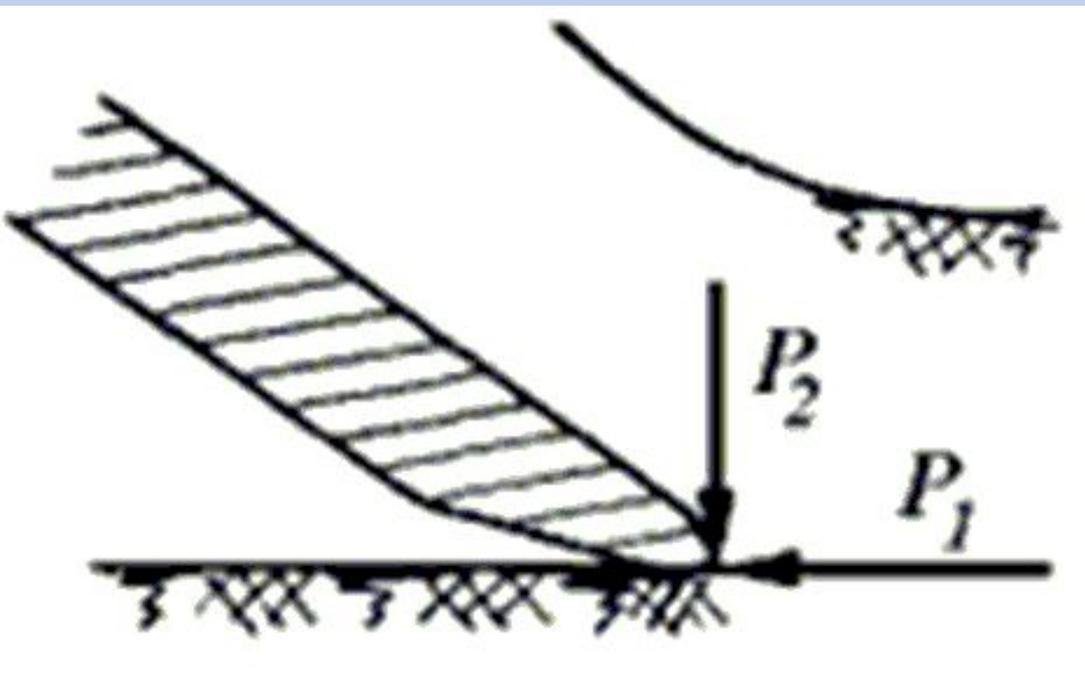
- Во время копания на рабочий орган со стороны грунта действует сила сопротивления грунта копанию, которая рассматривается как сумма реакций грунта на рабочий орган. Величина и направление этой силы зависят от типа и конструкции рабочего органа, формы и размеров поперечного сечения стружки

грунта.
Сила нормального давления грунта N , сила трения грунта по передней грани F , реакции грунта на затупленную площадку лезвия R (горизонтальная и вертикальная составляющие R_1 и R_2).



• Силы, действующие на рабочий орган

- Силу сопротивления копанию P , являющуюся равнодействующей рассмотренных сил, можно представить в виде касательной, нормальной и боковой составляющих P_1 , P_2 и P_3 , приложенных условно к лезвию режущего элемента.



- **Силы, действующие на рабочий орган**

- Направление силы P_1 противоположно направлению движения машины. Сила P_2 может быть направлена вниз или вверх в зависимости от соотношения реакций грунта на переднюю грань и на лезвие режущего органа. Сила P_3 действует в случае установки рабочего органа под углом φ к направлению движения, меньшим 90° , т. е. в случае косо́го резания. Сила P_3 является горизонтальной составляющей, перпендикулярной к направлению движения.

Сопротивление копанию P_1

- Впервые формула для определения касательной составляющей сопротивления копанию силы P_1 применительно к работе плуга была предложена акад. В.П. Гор

$$P_1 = \mu_1 G + K_p hb + \varepsilon \cdot hbV^2,$$

- где μ_1 – коэффициент трения рабочего органа о грунт; $\mu_1 = 0,25 \dots 0,4$;
- G – вес рабочего органа;
- K_p – удельное сопротивление резанию, для плуга $K_p = 20 \dots 100$ кН/м²;
- h и b – толщина и ширина срезаемой стружки грунта в м;
- ε – опытный коэффициент, учитывающий влияние скорости резания на величину сопротивления копанию; в среднем $\varepsilon = 0,1$.

Сопротивление копанию

Определение силы сопротивления резанию по формуле акад. В.П. Горячкина основано на допущении, что величина этой силы прямо пропорциональна площади поперечного сечения вырезаемой стружки ($P = bh$). Это допущение легло в основу определения сопротивления резанию для

Наименование грунта	Категория грунта	Плотность грунта ρ , т/м ³	Коэффициент разрыхления грунта k_p	Удельное сопротивление грунта резанию K_p , кПа	
				нож бульдозера	нож скрепера
Песок рыхлый, сухой	I	1,2...1,6	1,05...1,1	10...30	20...40
Песок влажный, супесь, суглинок разрыхленный	I	1,4...1,7	1,1...1,2	20...40	50...100
Суглинок, мелкий и средний гравий, легкая глина	II	1,5...1,8	1,15...1,25	60...80	90...180
Глина, плотный суглинок	III	1,6...1,9	1,2...1,3	100...160	160...300
Тяжелая глина, сланцы, суглинок со щебнем, гравием	IV	1,9...2,0	1,25...1,3	150...250	300...400

Сопротивление копанию

Проф. Н.Г. Домбровским предложена следующая формула для определения сопротивления копанию грунта P_1 рабочими органами экскаваторов силы

$$P_1 = P_p + P_t + P_{пр} = K_p b h + P_2 \mu_1 + q k_H \varepsilon,$$

где P_p – сопротивление грунта резанию;

P_t – сопротивление трения ковша о грунт;

$P_{пр}$ – сопротивление перемещению призмы волочения и грунта в ковше;

P_2 – составляющая силы сопротивления копанию, нормальная к траектории движения ковша;

q – емкость ковша;

k_H – коэффициент наполнения ковша;

ε – коэффициент сопротивления перемещению грунта в ковше.

Сила сопротивления копанию

Значения составляющих силы сопротивления копанию (в процентах от всего сопротивления копанию)

Категория грунта	Ковш	P_p	P_t	$P_{пр}$	Категория грунта	Ковш	P_p	P_t	$P_{пр}$
I	Драглайна	22	46	32	III	Драглайна	58	22	20
	Скрепера	23	31	46		Скрепера	46	17	37
	Прямой лопаты	42	51	7		Прямой лопаты	77	18	5
II	Драглайна	38	36	26	IV	Драглайна	63	17	20
	Скрепера	7	36	28		Скрепера	53	15	32
	Прямой лопаты	63	31	6		Прямой лопаты	83	12	5

Из приведенных данных следует, что при работе прямой лопаты призмы волочения почти нет, а у скрепера, особенно на легких грунтах, сопротивление перемещению призмы волочения и наполнению ковша составляет до 40...50% всего сопротивления копанию.

• Сила сопротивления копанию

- Относя все сопротивления к сечению стружки, Домбровский Н.Г. вывел выражение для определения силы P_1 :

$$P_1 = K_k F,$$

- где $F = bh$ – площадь стружки в см^2 ;
- K_k – удельное сопротивление грунта копанию в $\text{кг}/\text{см}^2$ (можно перевести в кПа).

• Сила сопротивления копанию

- Экспериментальным путем Н.Г. Домбровским получены значения K_k для машин с ковшовыми рабочими органами при работе их в различных грунтовых условиях.
 K в кг/см²

Грунт	Категория	Прямая лопата	Струг и драглайн	Скрепер
Песок рыхлый сухой	I	0,15...0,25	0,3...0,5	0,2...0,4
Песок, супесь, суглинок легкий (влажный)	I	0,3...0,7	0,6...1,2	0,5...1,0
Суглинок, гравий мелкий, средний, глина легкая, влажная и разрыхленная	II	0,6...1,3	1,0...1,9	0,95...1,8
Глина средняя или тяжелая разрыхленная, суглинок плотный	III	1,25...1,95	1,6...6	1,5...2,5
Глина тяжелая	IV	2,0...3,0	2,6...4,0	3,2...4,9

Категория грунта	Удельное сопротивление копанию K_k , кПа			
	Одноковшовые экскаваторы		Многоковшовые экскаваторы	
	прямая и обратная лопата	драглайн	поперечного копания	продольного копания (траншейные)
I	25...70	40...120	40...100	80...180
II	90...180	100...120	120...180	180...260
III	120...250	160...300	180...240	260...300
IV	250...400	300...500	240...300	300...400

- **Нормальная составляющая сопротивления копанию P_2**

- Величина нормальной составляющей сопротивления копанию P_2 для экскаваторов может определяться по формуле

$$P_2 = \psi \cdot P_1,$$

- где $\psi=0,2\dots0,6$ - коэффициент, зависящий от физико-механических свойств грунта, формы рабочего органа, его затупления, величины заглубления. Более высокие значения ψ соответствуют большему затуплению режущей части.

Общее сопротивление грунта копанию P

- Общее сопротивление грунта копанию P является геометрической суммой сил P_1 и P_2 :

$$P = \sqrt{P_1^2 + P_2^2} .$$

- Вычисление сопротивления копанию изложенным выше способом является приближенным, поскольку при этом не учитывается зависимость сопротивления копанию от соотношения размеров стружки b и h , угла резания δ , степени затупления режущей кромки и других факторов.
- Однако этот способ до настоящего времени находит широкое применение благодаря простоте и достаточной для практических расчетов точности результатов.

• Классификация грунтов

- Для нормирования экскавации грунтов в летних и зимних условиях необходим критерий сопротивляемости грунтов разработке в зависимости от их физического состояния.
- Таким критерием является шкала сопротивляемости грунтов, оцениваемая по числу ударов (числу C) динамического плотномера.
- Эта шкала является основой для нормирования производительности и расценок при экскавации грунтов. Число C входит в формулы, предложенные проф. А. Н. Зелениным для определения усилий резания грунтов различными рабочими органами землеройных машин.

•Классификация грунтов по трудности разработки

Нескальные мерзлые и немерзлые грунты разбиты на восемь категорий по числу ударов (числу С) динамического плотномера (ударника) ДорНИИ.

Категория грунта определяется числом ударов, которые необходимы для погружения в грунт на глубину 10 см цилиндрического стержня плотномера площадью 1 см² под действием груза весом 25 Н, падающего с высоты 0,4 м и производящего за каждый удар работу в 10 Дж.

Категория	I	II	III	IV
немерзлого грунта				
Число ударов, С	1...4(3)	5...8(6)	9...16(12)	17...35(25)
Категория мерзлого грунта	V	VI	VII	VIII
Число ударов С	35...70(50)	70... 140(100)	140...280(200)	280...560(400)

•Классификация грунтов по трудности разработки

- Между усилием резания P и числом C существует прямопропорциональная зависимость *независимо от категории грунта, его гранулометрического состава и влажности.*

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{P_1}{P_2}$$

- Эта формула позволяет по известному усилию P и числу C_1 для *одного* грунта при резании его *любым* рабочим органом определить усилие резания P_2 для *другого* грунта с *любым* другим значением C_2 , *не производя* резания.

•Классификация грунтов по трудности разработки

- В одну и ту же категорию в зависимости от влажности могут войти и супеси и глины. С другой стороны, *один и тот же грунт* в зависимости от его влажности может быть отнесен к различным категориям. Четыре группы этой классификации охватывают все многообразие грунтов, объединяя их по действительным величинам сопротивления резанию с помощью величины **C**, учитывающей гранулометрический состав и влажность грунтов.