

Лекция № 2.1

Эксплуатационные свойства машинно-тракторных агрегатов

В О П Р О С Ы

1

Технологические свойства машинно-тракторных агрегатов.

2

Энергетические свойства машинно-тракторных агрегатов

3

Скоростной режим работы машинно-тракторных агрегатов.

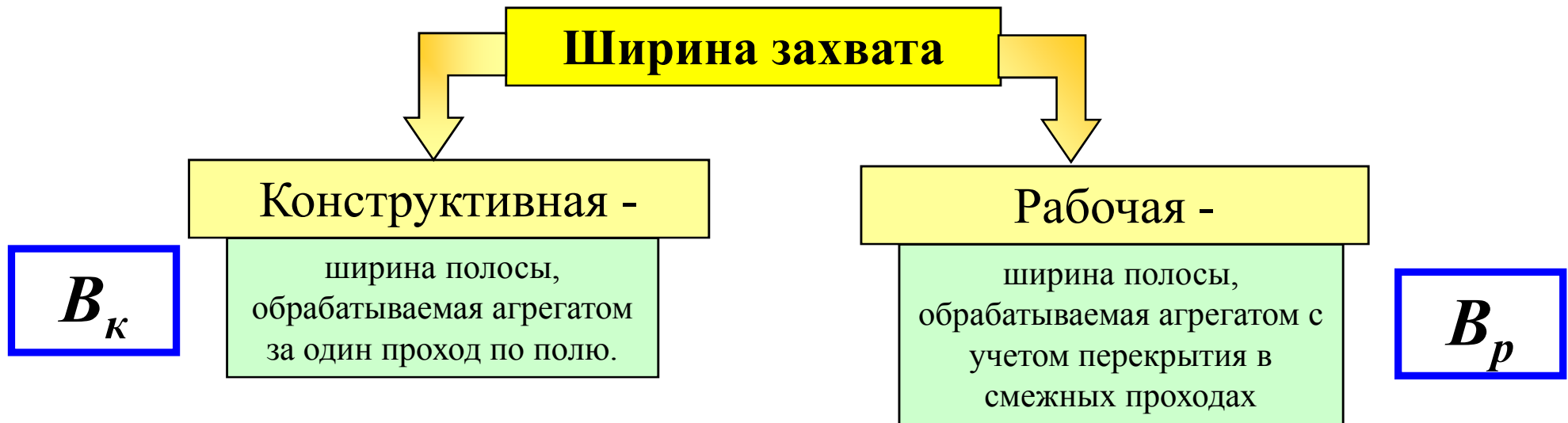
4

Выбор рационального скоростного режима работы МТА .

Эксплуатационные свойства МТА - свойства, которые оказывают наибольшее влияние на производительность и затраты ресурсов с учетом качества работы и воздействия на окружающую среду.



Технологические свойства

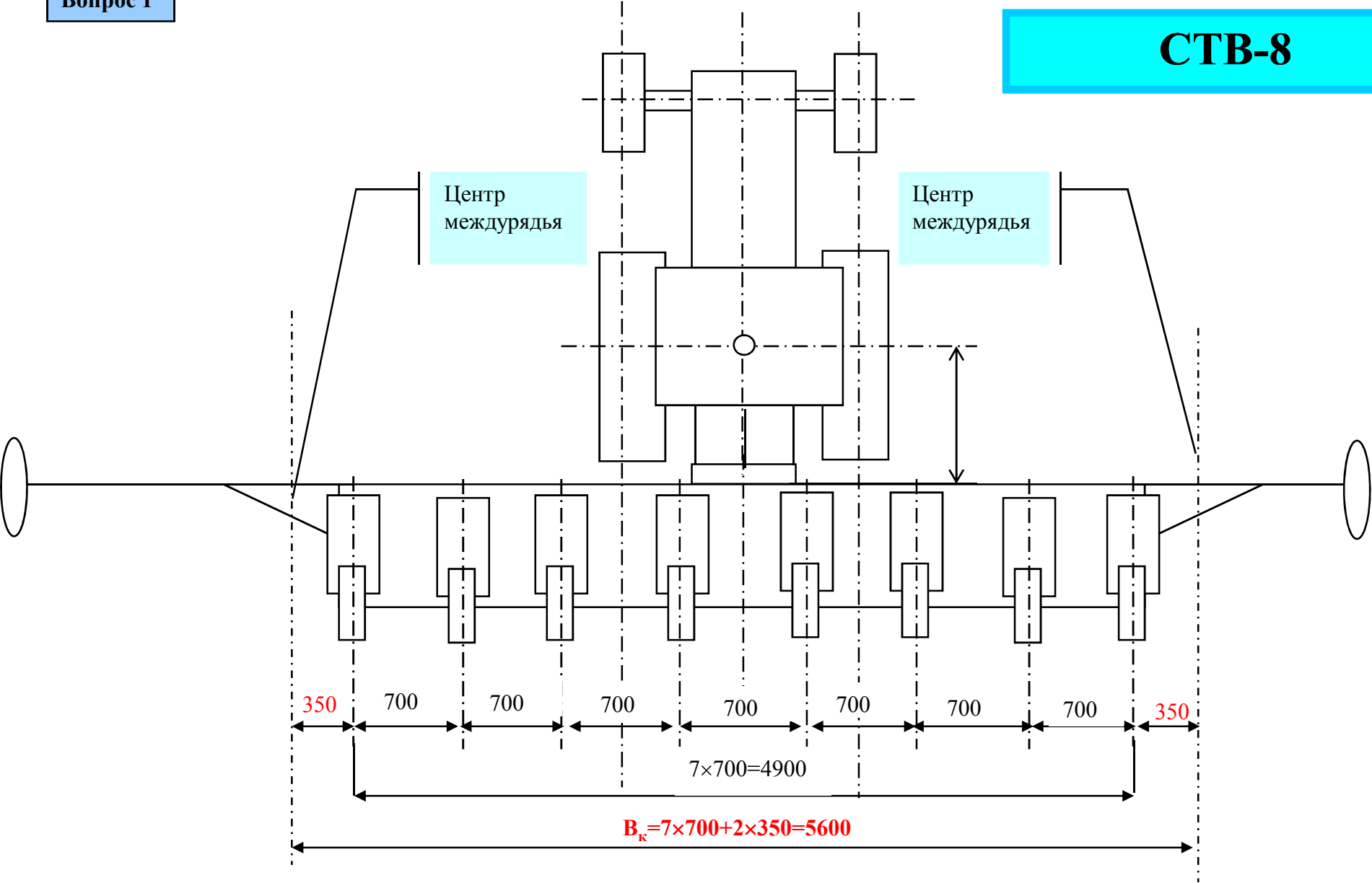


Коэффициент использования
конструктивной ширины захвата

$$\beta = \frac{B_p}{B_k}$$

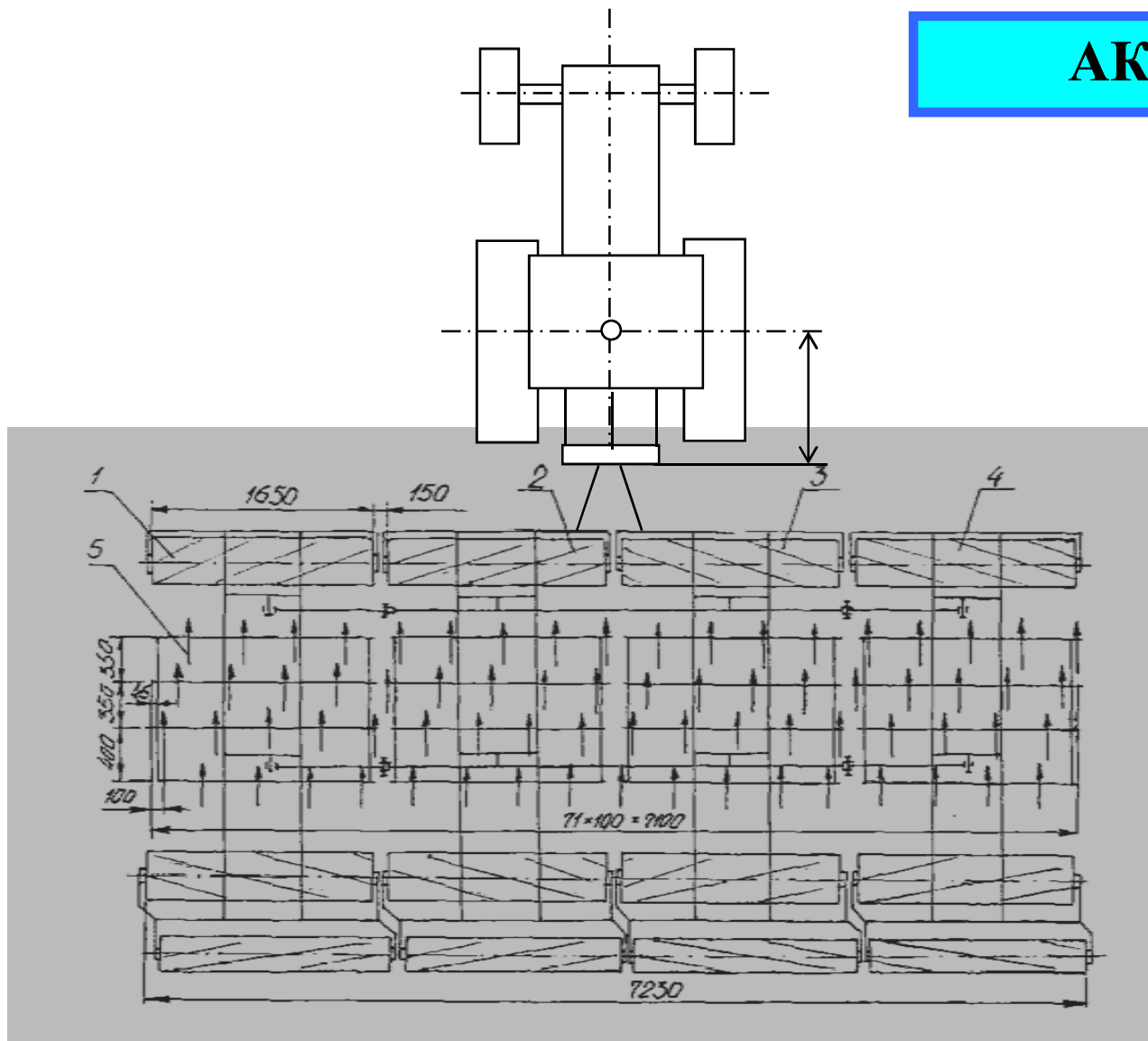
Вопрос 1

СТВ-8

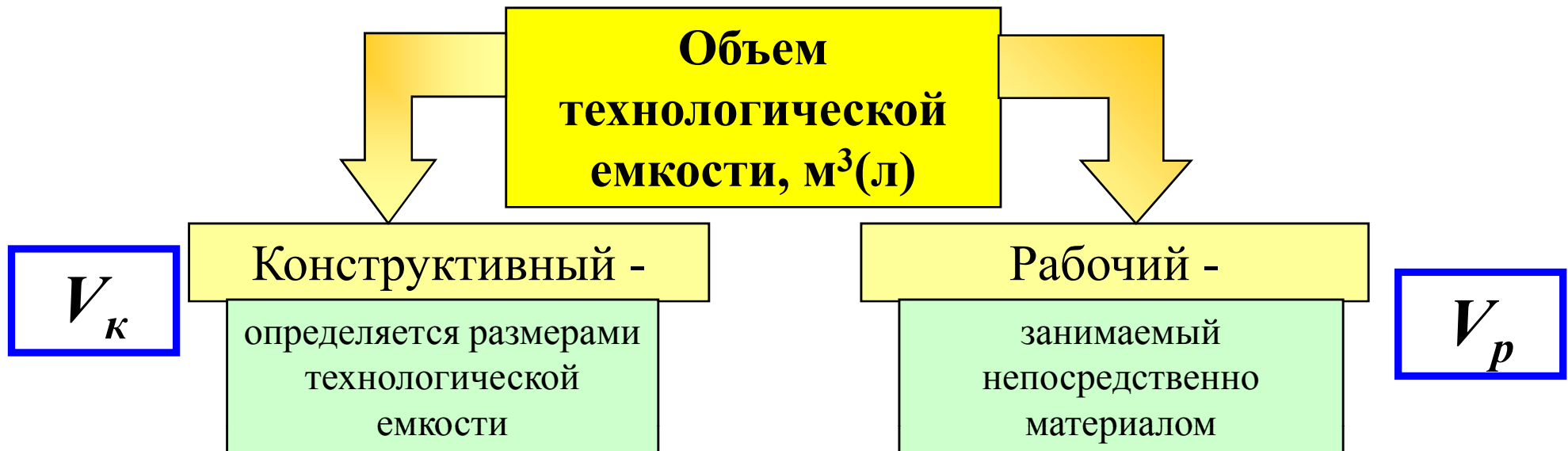


Вопрос 1

АКШ-7,2



Технологические свойства



Коэффициент использования объема
технологической емкости

$$\lambda = \frac{V_P}{V_K}$$

Технологические свойства

Фронт сцепки

расстояние между крайними точками присоединения рабочих машин, измеренное в направлении перпендикулярном движению

$$B_{сц} = B_{к}(n_{м} - 1),$$

При отсутствии перекрытия

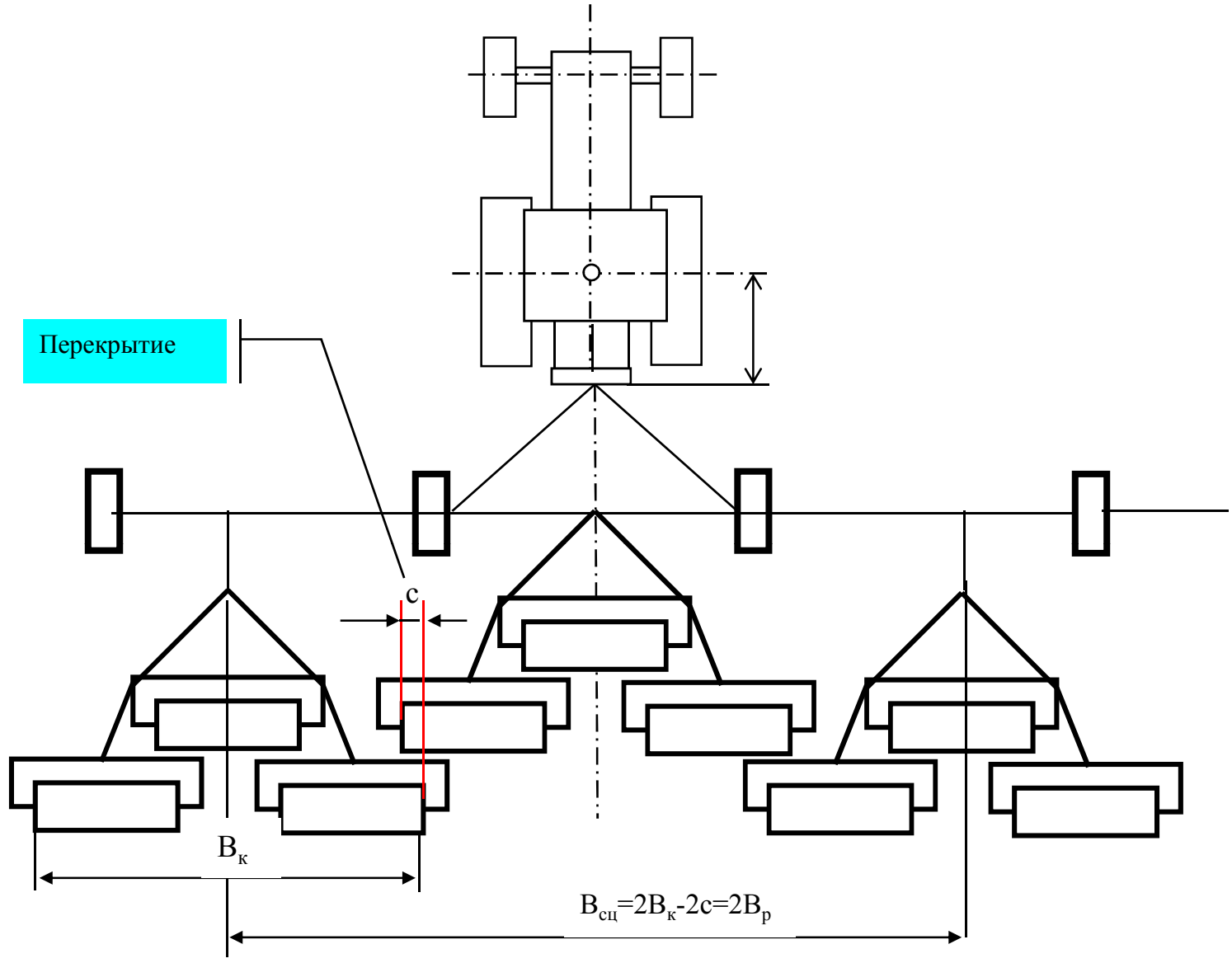
где $n_{м}$ — количество машин в агрегате.

$$B_{сц} = B_{р}(n_{м} - 1),$$

При наличии перекрытия

где $n_{м}$ — количество машин в агрегате.

Вопрос 1



Технологические свойства

Грузовместимость технологической емкости кг (т)

$$Q_{\delta} = V_p \gamma = V_k \lambda \gamma$$

где γ – насыпная плотность материала, кг/м³(т/м³).

Запас хода по технологической емкости , м

– путь проходимый сельскохозяйственной машиной (агрегатом) между двумя последовательными заправками (разгрузками) технологической емкости.

$$L_{техн} = \frac{10^4 Q_{\delta}}{B_p U}$$

где Q_p – грузовместимость технологической емкости, кг(т);

B_p – рабочая ширина захвата машины, м;

U – норма распределения (сбора) материала, кг (т)/га.

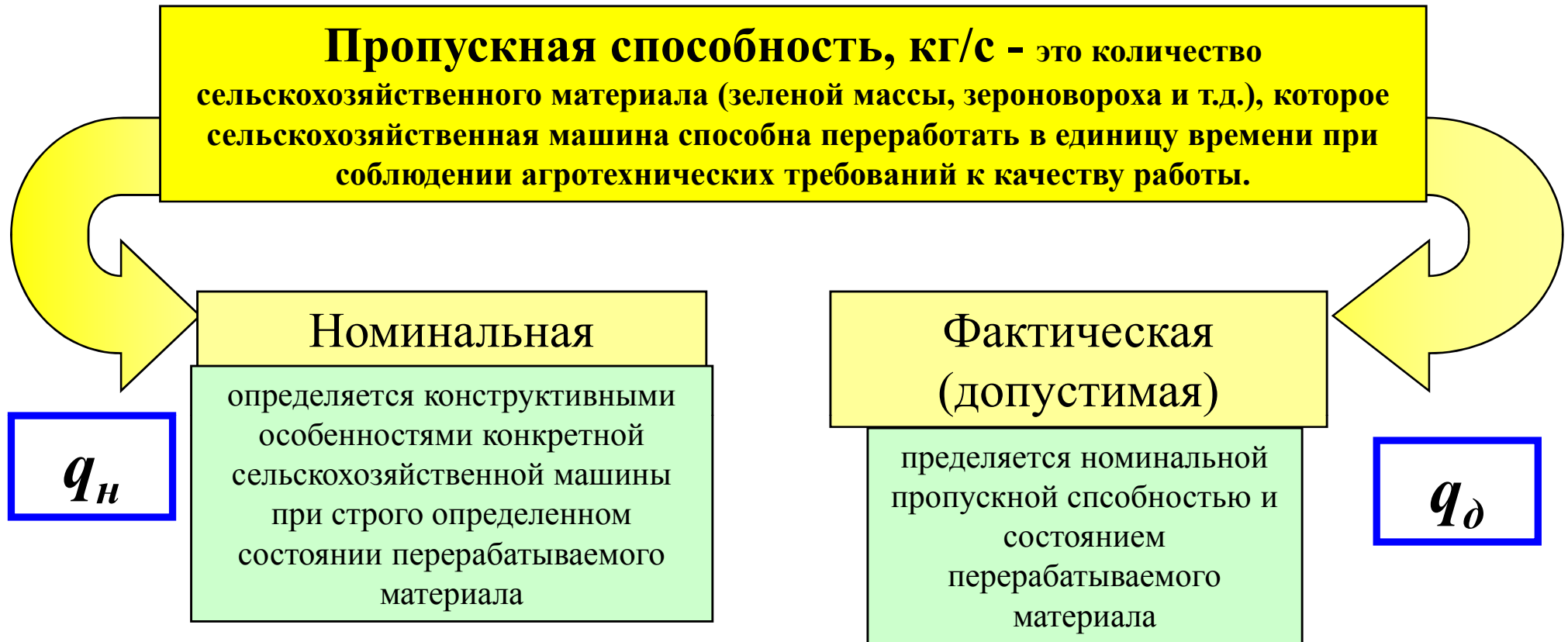
Технологические свойства

**Агротехнически допустимая рабочая скорость V_{agr} ,
км/ч (м/с)**

- это такое значение скорости сельскохозяйственной машины в агрегате на рабочем гоне, при котором отклонение действительных параметров выполняемого технологического процесса от заданных (номинальных) не превышает допустимых пределов.

Приводится в справочной литературе в виде интервала, например 7...10 км/ч – интервал агротехнически допустимых скоростей при отвальной вспашке.

Технологические свойства



Удельное тяговое сопротивление k_0 – величина, численно равная среднему тяговому усилию трактора (энергосредства), которое требуется для перемещения машины по ровной поверхности и выполнения ею технологического процесса на 1 м конструктивной ширины захвата либо 1 м² обрабатываемой площади в плоскости перпендикулярной направлению хода рабочих органов машины (орудия)

Определяется экспериментально при определенной скорости движения машины (орудия), а средняя величина в виде интервала, либо конкретного значения, приводится в справочниках для скорости движения машин 5 км/ч.

Для большинства сельскохозяйственных машин k_0 – имеет размерность в кН/м, а для плугов кН/м² (кПа)-килопаскаль.

Например, среднее удельное сопротивление:

рядовой сеялки – 1,0...1,4 кН/м;

узкорядной – 1,4..1,9 кН/м;

плуга при обработке дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы и агрофоне целина, залежь – 50 кН/м².

K_0 – случайная величина

В реальных условиях имеет место стохастический (случайный в вероятностно-статистическом смысле) характер удельного сопротивления машин (рис. 1). Главным образом это связано с изменчивостью физико-механических свойств обрабатываемого материала, микрорельефа поля, режима работы и других факторов.

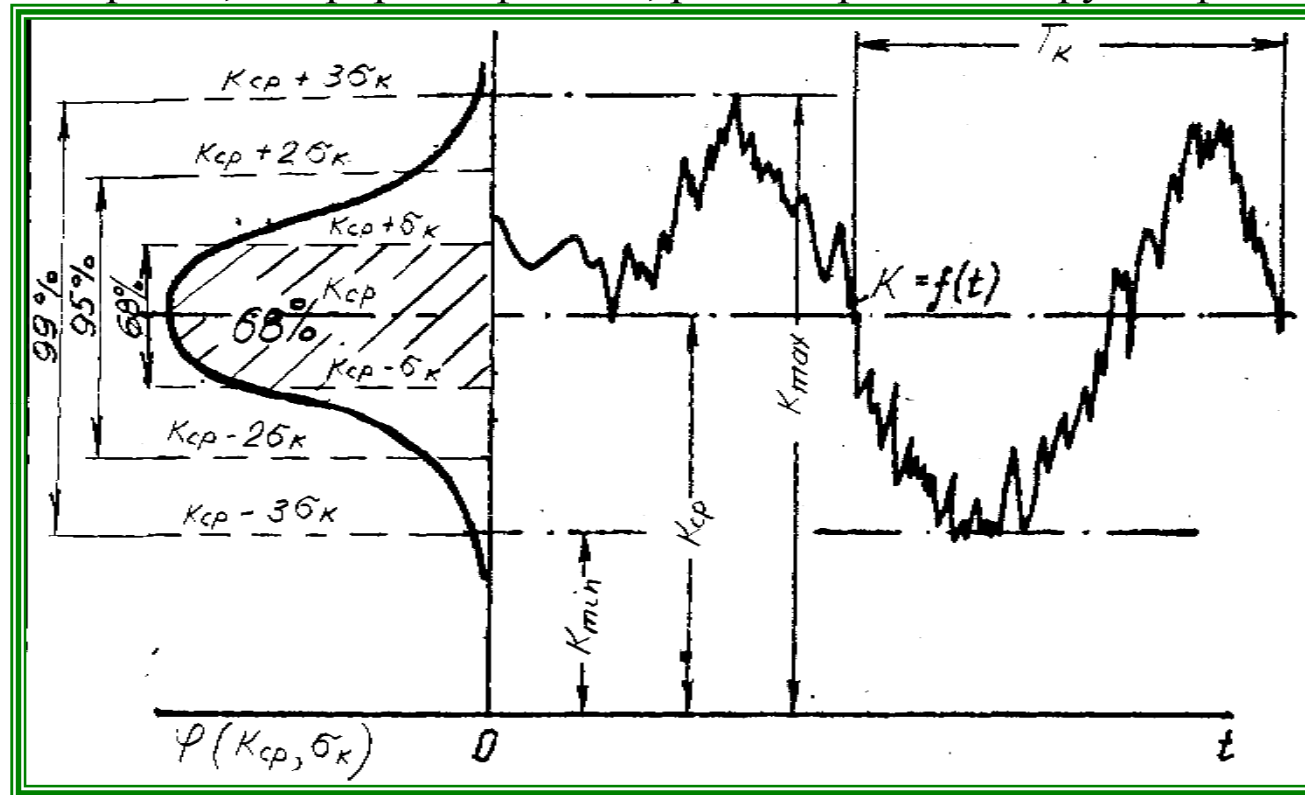
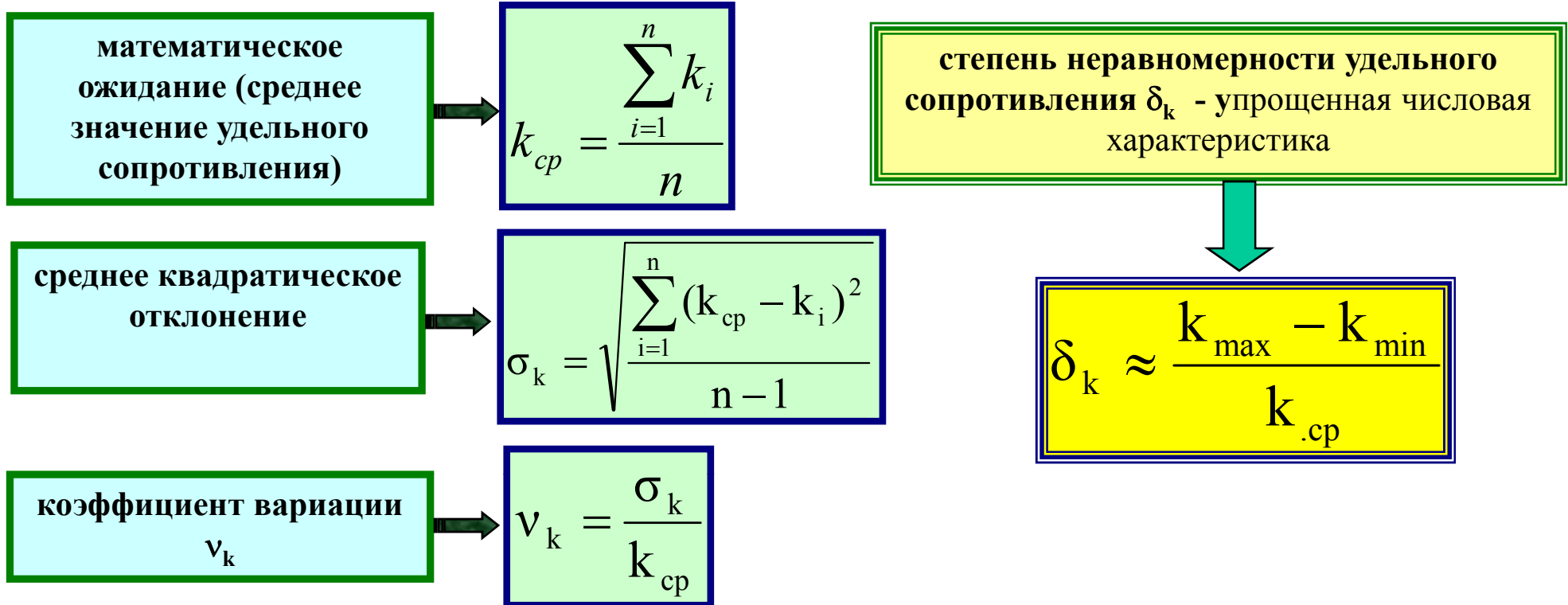


Рис.1. Характер изменения и закон распределения случайной величины удельного сопротивления.

Плотность распределения вероятностей удельного сопротивления рабочих машин приближается к **закону нормального распределения**, хотя в отдельных случаях она ближе к законам полуэллиптического распределения, усеченного равнобедренного треугольника и др.

Характеристики закона распределения



Взаимосвязь между степенью неравномерности и коэффициентом вариации зависит от выбора доверительного интервала (степени точности):

в 95%-м доверительном интервале

$$\delta_k \approx 4v_k$$

в 99%-м доверительном интервале

$$\delta_k \approx 6v_k$$

Факторы, влияющие на удельное сопротивление.

Эксплуатационные

следует учитывать при обосновании эксплуатационных режимов работы

Природно-климатические

следует учитывать при установлении различных нормативов или анализе показателей работы в данных условиях, при выборе технологии и т. п

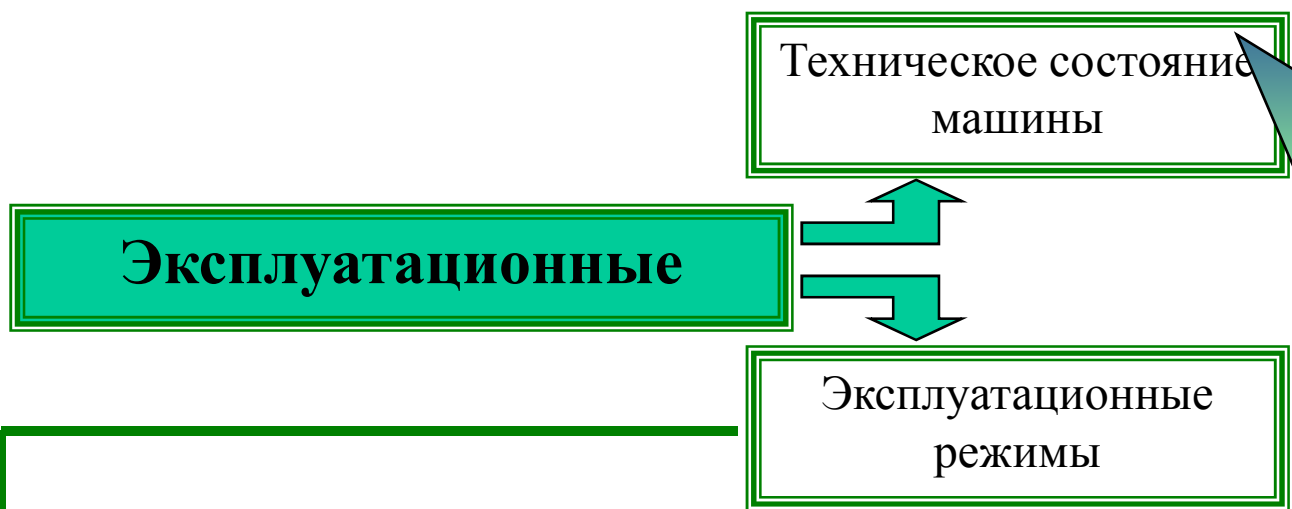
Конструктивные

следует учитывать при выборе той или иной конструкции машин или определении эксплуатационных требований к усовершенствованию машин

Вопрос 2

Факторы, влияющие на удельное сопротивление

в значительной мере зависит от своевременности и тщательности проведения всех видов технического обслуживания, а также от срока службы (возраста) машины. Разрегулированность механизмов машины, неправильный уход за ней обычно приводят к увеличению удельного сопротивления против нормативных, расчетных значений на 5—8%, а в ряде случаев (например, при работе плугов с затупленными лемехами) на 20—30% и более.



$$k = k_0 [1 + (v_p - v_0) \Delta_c / 100],$$

где k – удельное тяговое сопротивление при рабочей скорости ,
 Δ_c – темп роста удельного сопротивления, показывает на сколько процентов возрастает удельное сопротивления при увеличении рабочей скорости v_p на 1 км/ч свыше $v_0 = 5$ км/ч.



$$k_H = (0,8 \dots 0,85) k_0 [1 + (v_p - v_0) \Delta_c / 100].$$

при навесном агрегатировании

Эксплуатационные режимы, влияющие на удельное сопротивление.

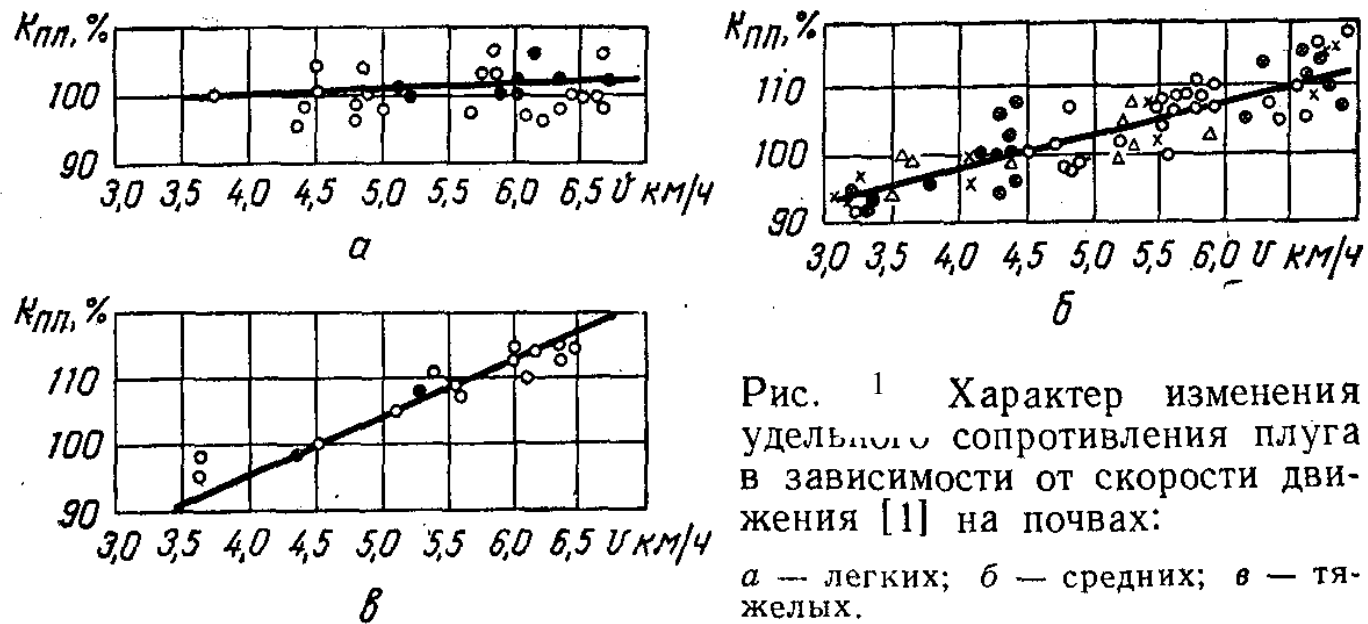


Рис. 1 Характер изменения удельного сопротивления плуга в зависимости от скорости движения [1] на почвах:

а — легких; б — средних; в — тяжелых.

Глубина обработки обычно незначительно влияет на изменение удельного сопротивления машин (например, плугов) в случае однородности почвы по глубине. Поэтому в эксплуатационных расчетах удельное сопротивление машин принимается не зависящим от глубинной неоднородности почвы.

Изменяется удельное сопротивление *и при постепенном заполнении или опорожнении технологических емкостей, при работе на склонах* (особенно при отваливании пласта вверх или вниз) и в зависимости от ряда других эксплуатационных факторов.

Вопрос 2

Факторы, влияющие на удельное сопротивление

Природно-климатические

тип и состояние почвы, наличие в ней хрящеватых и каменистых включений, метеорологические условия, свойства обрабатываемых материалов (семена, удобрения, растительная масса и др.).

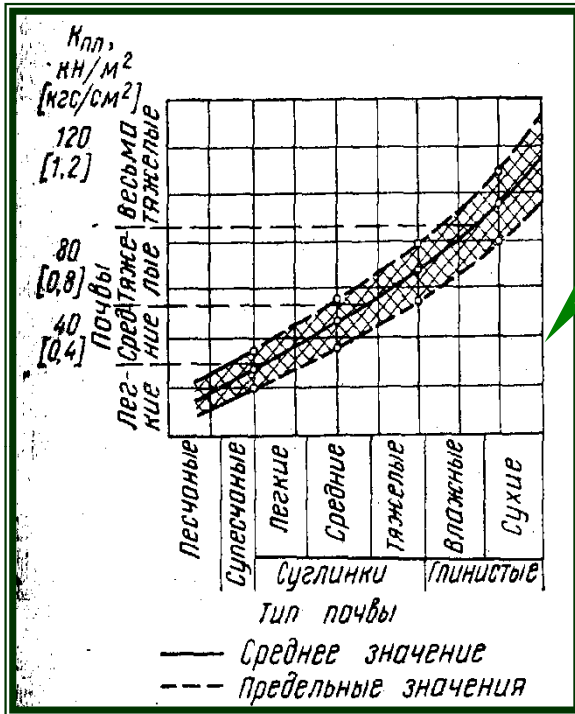


Рис.2. Характер изменения удельного сопротивления плуга в зависимости от типа почвы.

легкие — почвы, вызывающие удельное сопротивление плуга $k_0 < 30$ кН/м², средние — $k_0 = 30—50$ кН/м², тяжелые — $k_0 = 50—85$ кН/м², весьма тяжелые — $k_0 > 85$ кН/м².

При определенной влажности почвы в довольно широких пределах удельное сопротивление плуга почти неизменно и минимально. Этот диапазон влажности определяет так называемую механическую «спелость» почвы. В справочной литературе значения удельного сопротивления обычно даются при механической «спелости» почвы и влажность не указывается. во всех случаях, когда по каким-либо причинам приходится обрабатывать почву не в период ее «спелости», а в состоянии переувлажнения или иссушенности, удельное сопротивление будет значительно большим, чем по справочным данным

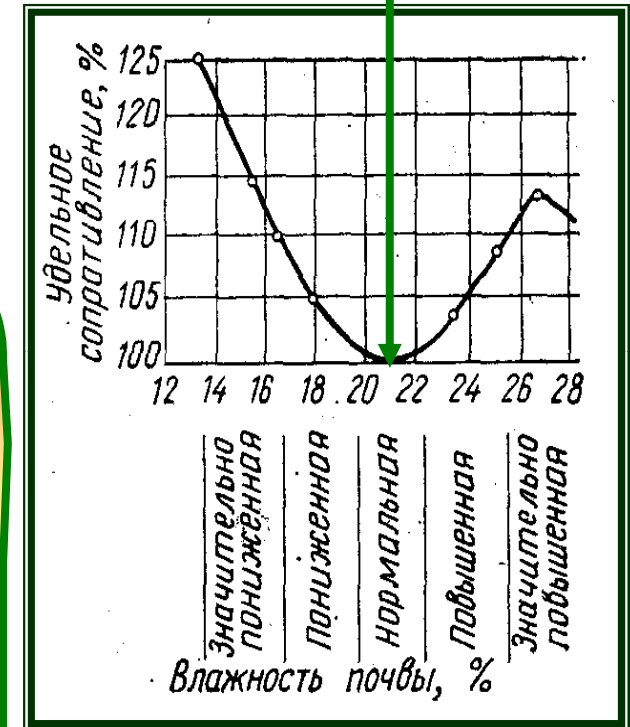


Рис.3. Характер изменения удельного сопротивления в зависимости от влажности почвы

Вопрос 2

Конструктивные факторы.

Факторы, влияющие на удельное сопротивление

тип, форма и число рабочих органов, их материал и технология изготовления, вес машины, наличие вспомогательных устройств, тип и устройство ходового (опорного) аппарата и др.

Например

У плугов удельное сопротивление существенно зависит от наличия предплужников. Многолетние и длительные испытания показывают, что в **одних случаях** установка предплужников увеличивает тяговое сопротивление плуга, в **других** — почти не влияет на него, а в **третьих случаях** (как правило, при работе на легких оструктуренных почвах) — уменьшает.

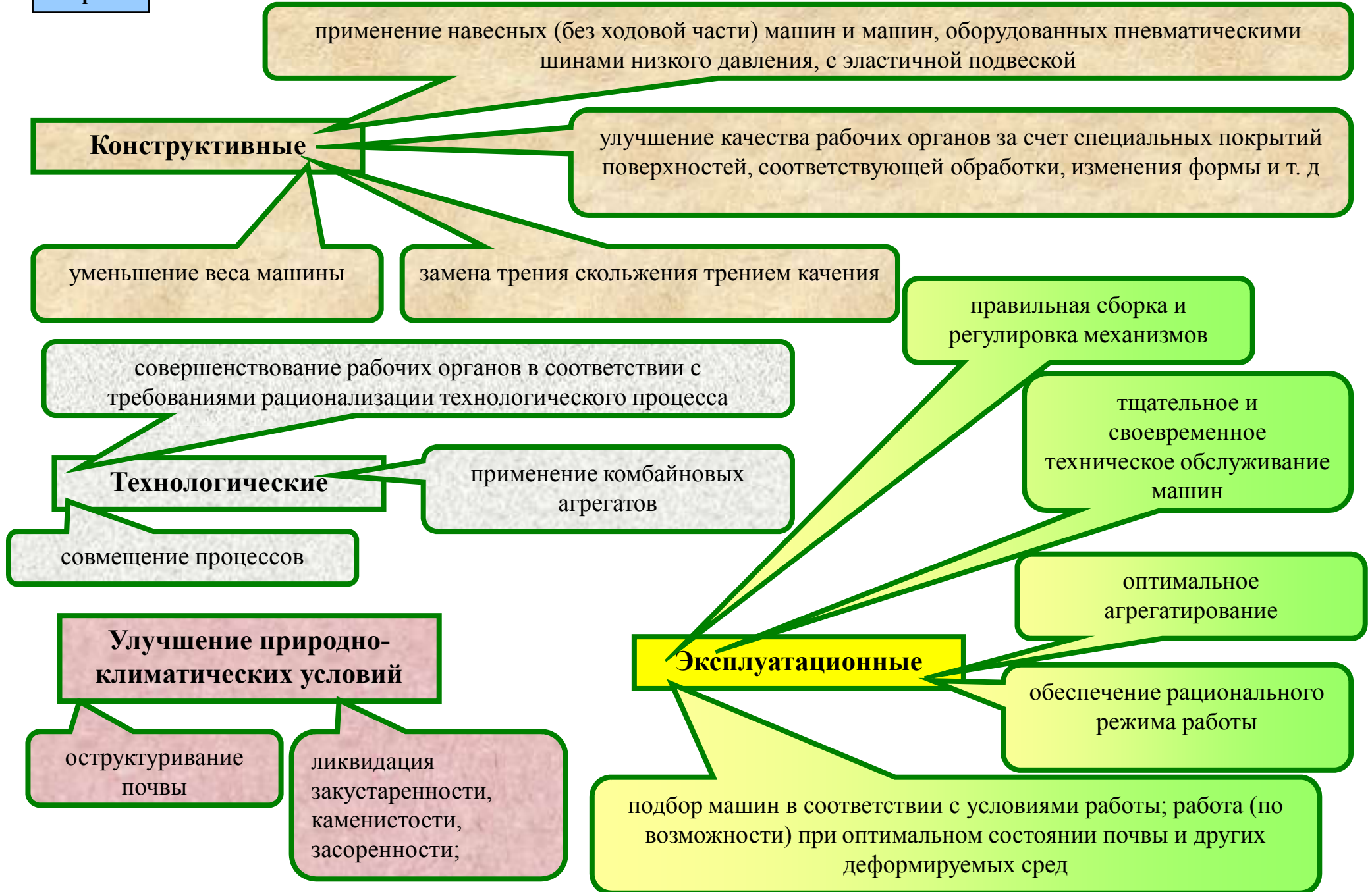
Объясняется это тем, что при вспашке с предплужниками имеет место деформация пласта в два слоя, благодаря чему сопротивление деформации резко сокращается, но, с другой стороны, вдвое увеличивается число плоскостей подрезания пласта. Поэтому на почвах, где сопротивление резанию велико (тяжелые, задернелые бесструктурные почвы), уменьшение сопротивления деформации не компенсирует увеличения сопротивления резанию и общее сопротивление плугов с предплужниками больше, чем сопротивление плугов без предплужников. На легких, мало задернелых (чистых) и оструктуренных почвах, наоборот, сопротивление плугов с предплужниками меньше, чем сопротивление тех же плугов без предплужников.

Однако из сказанного нельзя делать вывод о том, что на тяжелых почвах не следует применять предплужники. Их применение обусловлено не снижением сопротивления, а агротехническими требованиями с целью повысить урожайность. Но в эксплуатационных расчетах изменение сопротивления при установке предплужников следует учитывать. Как правило, нормы выработки и другие расчеты даются для плугов с предплужниками. Если же по агротехническим условиям необходима работа плугов без предплужников, то в среднем удельное сопротивление, а соответственно и расход топлива снижают, а нормы выработки увеличивают примерно на 6%.

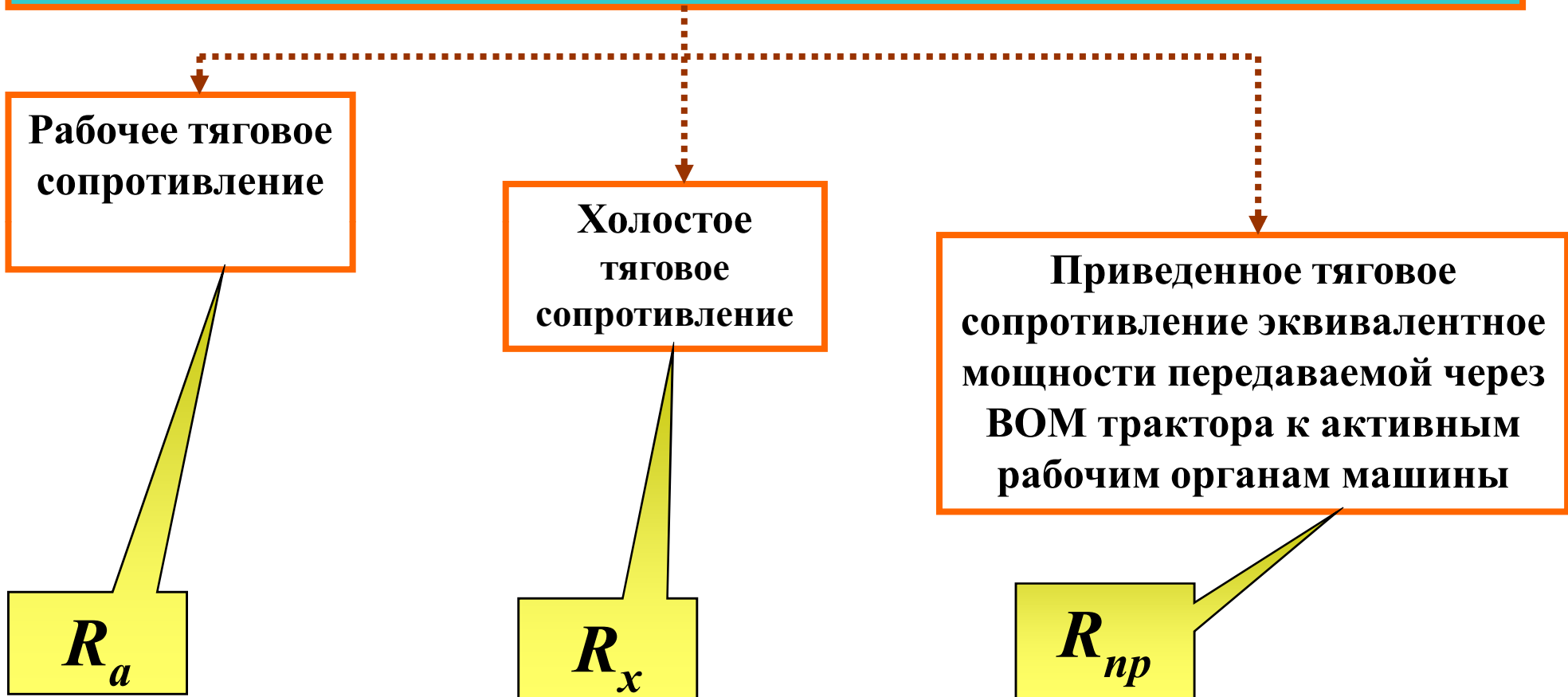
Одним из важнейших факторов, влияющих на удельное сопротивление машин, является форма рабочих органов (например, цилиндрическая или винтовая поверхность отвалов, специальные рабочие органы для «скоростной» обработки).

Вопрос 2

Пути снижения удельного сопротивления



Тяговое сопротивление R (кН) – представляет собой среднюю величину тягового усилия трактора, необходимого для перемещения сельскохозяйственной машины (машин) в составе МТА и выполнения ею (ими) технологической операции с заданными показателями качества.



g_M – погонный вес машины (вес 1 м конструктивной ширины захвата), кН/м;

$G_M, G_{сц}, G_{пр}, G_{пл}$ – вес машины, сцепки, прицепа или плуга, кН;

$f_{тр}, f_{сц}, f_{пр}$ – коэффициенты сопротивления качению трактора, сцепки и прицепа соответственно;

i – уклон в направлении движения, %;

λ – коэффициент догрузки ведущих колес трактора от веса навесной машины;

c – поправочный коэффициент, учитывающий вес почвы на корпусах плуга;

$b_{кор}$ – ширина захвата одного корпуса плуга, м;

$n_{кор}$ – количество корпусов плуга;

$N_{ВОМ}$ – мощность, передаваемая от двигателя трактора к активным рабочим органам сельскохозяйственной машины, кВт;

$i_{тр}$ – передаточное число трансмиссии трактора (энергосредства) на передаче;

r_k – действительный радиус качения ведущих колес, м;

n_H – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя трактора, мин⁻¹;

$\eta_{МГ}$ – к.п.д. трансмиссии и ходовой части трактора;

$\eta_{ВОМ}$ – к.п.д. передачи на ВОМ.

Вопрос 2

Формулы для определения рабочего тягового сопротивления

$$R_a = n_M B_K \left(k + g_M \frac{i}{100} \right) + G_{сц} \left(f_{сц} + \frac{i}{100} \right)$$

тяговый прицепной сложный агрегат

$$R_a = n_M B_K k_H + (G_{сц} + n_M G_M) \left(\lambda f_{тр} + \frac{i}{100} \right)$$

тяговый сложный агрегат с навесной сцепкой

$$R_a = B_K k_H + G_M \left(\lambda f_{тр} + \frac{i}{100} \right)$$

тяговый навесной простой агрегат

$$R_{пл} = h b_{кор} k_{пл} n_{кор} + G_{пл} \left(\lambda f_{тр} + c \frac{i}{100} \right)$$

пахотный агрегат

$$R_a = n_{пр} (G_{пр} + G_{гр}) \left(f_{пр} + \frac{i}{100} \right)$$

транспортный агрегат (трактор + прицепы в количестве $n_{пр}$ для транспортировки груза весом $G_{гр}$ в каждом из них)

Вопрос 2

Формулы для определения холостого тягового сопротивления

$$R_{ax} = n_M G_M \left(f_M + \frac{i}{100} \right) + G_{сц} \left(f_{сц} + \frac{i}{100} \right)$$

тяговый прицепной сложный агрегат

$$R_{ax} = (G_{сц} + n_M G_M) \left(\lambda f_{тр} + \frac{i}{100} \right)$$

тяговый сложный агрегат с навесной сцепкой

$$R_{ax} = G_M \left(\lambda f_{тр} + \frac{i}{100} \right)$$

тяговый навесной простой агрегат

$$R_{плх} = G_{пл} \left(\lambda f_{тр} + \frac{i}{100} \right)$$

пахотный агрегат

$$R_{ax} = n_{пр} G_{пр} \left(f_{пр} + \frac{i}{100} \right)$$

транспортный агрегат (трактор + прицепы в количестве $n_{пр}$ для транспортировки груза весом $G_{гр}$ в каждом из них)

Формулы для определения приведенного тягового сопротивления

$$R_{np} = \frac{10N_{BOM} i_{mp} \eta_{m2}}{r_k n_n \eta_{BOM}}$$

При тягово-приводном агрегатировании принято рассчитывать полное (суммарное) рабочее сопротивление, определяемое по формуле

$$R_{сум} = R_a + R_{np}$$

Мощность на привод, передаваемая через ВОМ, зависит от характера выполняемого машиной технологического процесса и определяется чаще всего экспериментально для каждой конкретной сельскохозяйственной машины.

Баланс этой мощности определяется зависимостью

$$N_{BOM} = N_{техн} + N_{BOM.хх} + N_{BOM.доп}$$

где $N_{техн}$ –затраты мощности на технологический процесс, определяются в зависимости от особенностей самого процесса;

$N_{BOM.х.х.}$ - затраты мощности на холостой ход механизмов машины;

$N_{BOM.доп}$ - затраты мощности на привод вспомогательных механизмов машины (гидропривод и др.).

Для **уборочных агрегатов** с пропускной способностью q затраты мощности на технологический процесс определяются по формуле

$$N_{техн} = qN_{уд},$$

где $N_{уд}$ – удельные затраты (на единицу пропускной способности) мощности на технологический процесс, кВт/(кг/с), определяемые чаще всего экспериментально..

Вопрос 3

Скорость движения
(скоростной режим)

Степень использования тяговых и мощностных
возможностей энергосредства (показатели
загрузки).

Режим работы
машинно-тракторного
агрегата

Характеристики скоростного режима

теоретическая
скорость

рабочая
скорость

скорость холостого
хода (без нагрузки)

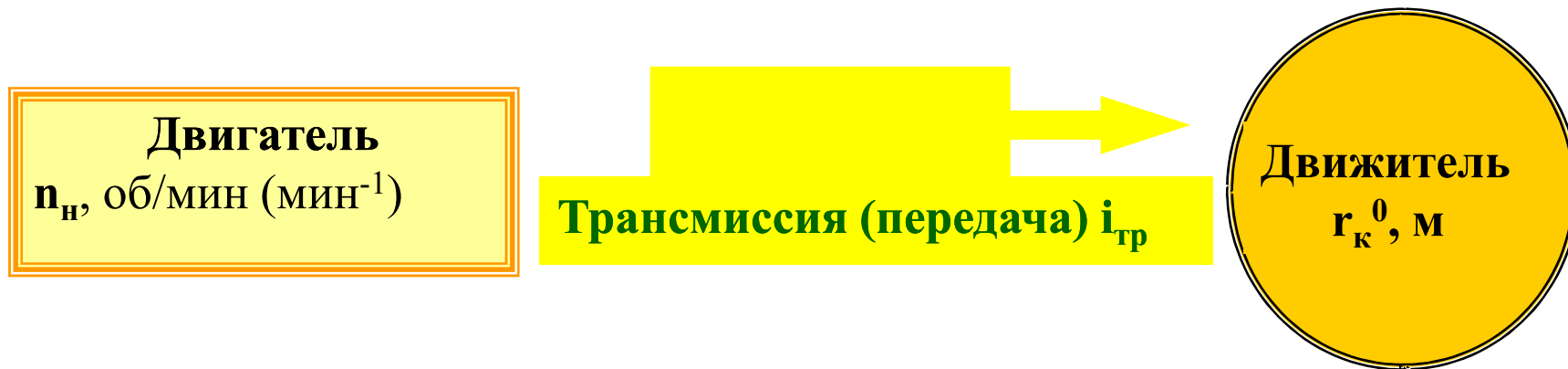
среднетехническая
скорость

эксплуатационная
скорость

Вопрос 3

Теоретическая скорость – это скорость прямолинейного движения МТА на ровном горизонтальном участке опорной поверхности при следующих условиях:

- буксование отсутствует;
- частота вращения коленчатого вала двигателя энергосредства - номинальная;
- параметры движителя соответствуют его ненагруженному состоянию.



Вопрос 3

Частота вращения ведущих колес (приводных звездочек) может быть определена по формуле

$$n_k = n_H / i_{тр},$$

а угловая скорость (рад/с, с⁻¹) – $\omega_k = \pi n_k / 30$.

Линейная скорость (она же искомая теоретическая скорость) определяется известной зависимостью (м/с)

$$\begin{aligned} v_T = \omega_k r_k &= \pi n_k r_k^0 / 30 = \pi n_H r_k^0 / (30 i_{тр}) = \\ &= 0,105 n_H r_k^0 / i_{тр}. \end{aligned}$$

В практике принято выражать скорость в км/ч, тогда

$$v_T = 3,6 \cdot 0,105 n_H r_k^0 / i_{тр} = 0,377 n_H r_k^0 / i_{тр}$$

Итак в дальнейшем теоретическую скорость движения МТА будем определять по формуле (км/ч)

$$v_T = 0,377 n_H r_k^0 / i_{тр}$$

Вопрос 3

В случае гусеничного движителя r_k – это радиус начальной окружности ведущей звездочки.

Используя кинематические характеристики для гусеничного движителя теоретическую скорость движения можно определять по зависимости (м/с)

$$v_T = z t_T n_H / (60 k_3 i_{TP}) = 0,017 z t_T n_H / (k_3 i_{TP}),$$

где z - число зубьев ведущей звездочки;

t_T - шаг гусеничной ленты, м;

k_3 – отношение шага зацепления к шагу гусеничной ленты ($k_3=1$ или 2).

$$v_T = 3,6 \cdot 0,017 z t_T n_H / (k_3 i_{TP}) = 0,06 z t_T n_H / (k_3 i_{TP})$$

Рабочая (техническая) скорость – это скорость прямолинейного движения МТА на ровном горизонтальном участке опорной поверхности при следующих условиях:

- буксование равно δ (%) и постоянно, т.е. $\delta = \text{const}$;
- частота вращения коленчатого вала двигателя энергосредства определяется степенью загрузки двигателя по мощности (η_N) и работе его в регуляторной зоне внешней скоростной характеристики, причем $\eta_N = \text{const}$;
- параметры движителя соответствуют нагруженному (деформированному) состоянию.

Для колесных пневматических движителей радиус ведущих колес под нагрузкой можно определять по зависимости

$$r_k = r_0 + \lambda h_{\text{ш}},$$

здесь $h_{\text{ш}}$ – высота шины, м;

r_0 – радиус обода, м;

$\lambda_{\text{ш}}$ – коэффициент усадки шины, зависящий от давления воздуха в шине, характеристик ее эластичности и свойств опорного основания.

С достаточной для расчетов точностью $\lambda_{\text{ш}}$ может быть принят:

твердом грунте – 0,7;

на стерне и залежи – 0,75;

на вспаханном поле – 0,8.

Для гусеничных движителей принимается, что нагрузка не оказывает влияния на кинематические параметры.

Вопрос 3

Рабочую скорость можно определять по зависимости (км/ч)

$$v_p = 0,377 n_d r_k \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) / i_{тр}$$

Если числитель и знаменатель полученного выражения

умножить на n_H , то получим

$$v_p = v_T \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) \frac{n_d}{n_H}$$

Вследствие того, что режим работы агрегатов обеспечивается

при максимально возможных показателях загрузки двигателя

по мощности отношение $\frac{n_d}{n_H} \approx 1$ и тогда

$$v_p = v_T \left(1 - \frac{\delta}{100}\right)$$

Скорость холостого хода (v_x) соответствует режиму работы агрегата без нагрузки и определяется при тех же условиях, что и рабочая с использованием зависимости (1).

Однако она всегда больше рабочей скорости вследствие увеличения частоты вращения коленчатого вала двигателя при снижении потребляемой мощности. Уменьшается также и буксование, которое с достаточной для расчетов точностью может принято равным 0 при частоте вращения коленчатого вала двигателя, близкой к максимальным оборотам холостого хода, т.е. $n_d = n_{xx.макс.}$

Рабочая скорость и скорость холостого хода может быть определена экспериментально с использованием зависимостей

$$v_p = S_p/t_p; v_x = S_x/t_x,$$

где S_p – измеренная длина пути, соответствующая движению агрегата под нагрузкой

(длина рабочего хода), м (км);

t_p - время, затраченное на рабочий ход, с (ч);

S_x – измеренная длина пути, соответствующая холостому ходу (поворот, холостой заезд), м (км);

t_x – время, затраченное на холостой ход, с(ч).

Среднетехническая скорость движения

агрегата – это средняя скорость его движения на рабочих и холостых ходах за нормосмену (7 ч) без учета нормируемых и ненормируемых затрат времени:

$$V_{\text{ср. техн}} = (\Sigma S_p + \Sigma S_x) / (T_p + T_x),$$

где ΣS_p и ΣS_x – суммарная длина пути при рабочих и холостых ходах за нормосмену, км;

T_p и T_x - время движения на рабочих и холостых ходах за нормосмену, ч.

Эксплуатационная скорость – это средняя за нормосмену скорость движения агрегата с учетом простоев:

$$v_{\text{э}} = (\Sigma S_{\text{p}} + \Sigma S_{\text{x}}) / (T_{\text{p}} + T_{\text{x}} + T_{\text{0}}) = (\Sigma S_{\text{p}} + \Sigma S_{\text{x}}) / T_{\text{см}},$$

где T_0 – время простоев агрегата за нормосмену ($T_{\text{см}}$).

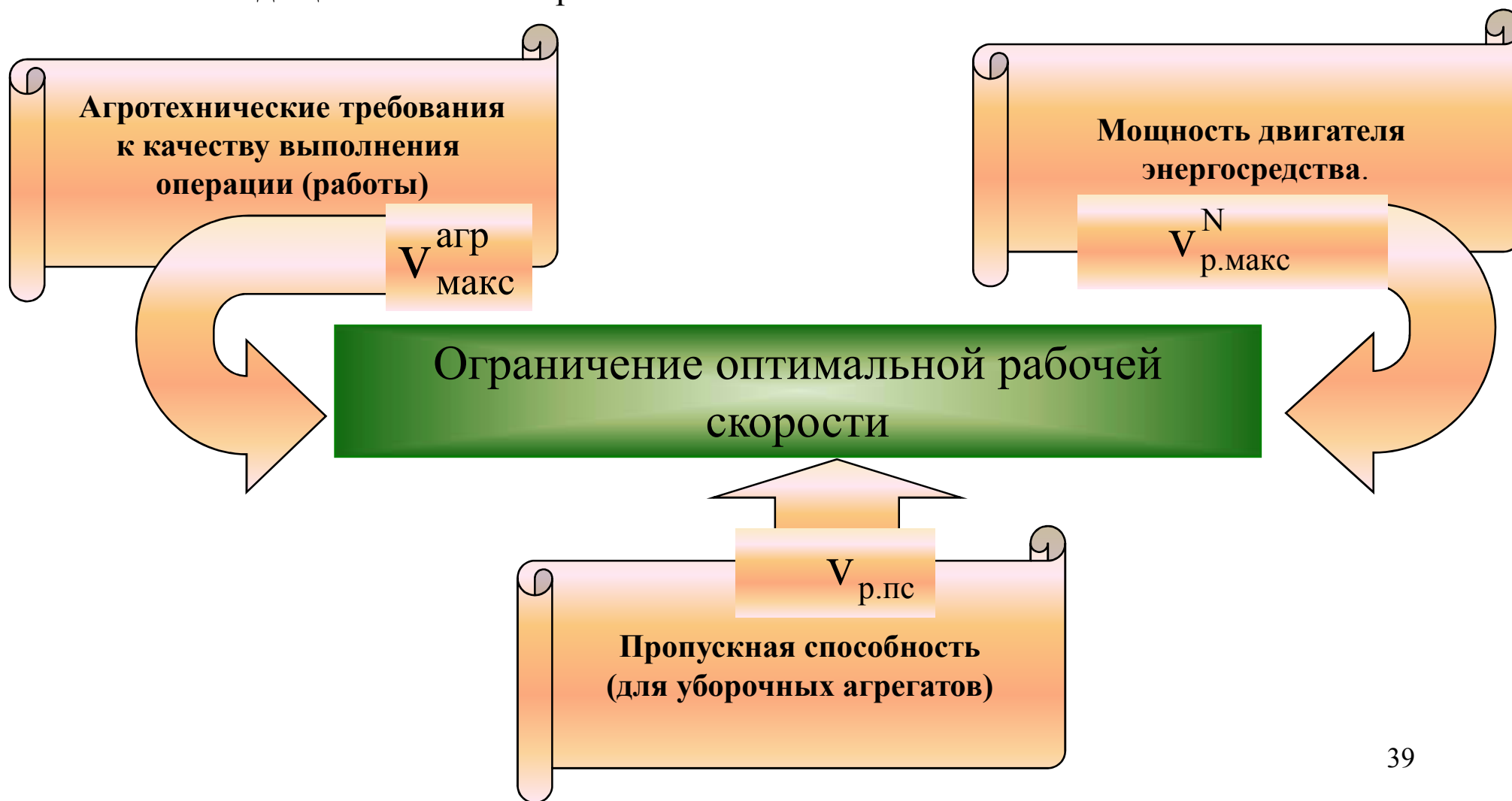
Используя приведенные выше зависимости можно установить соотношения между характеристиками скоростного режима агрегата:

$$V_{\text{э}} = V_{\text{ср.техн}} (T_p + T_x) / T_{\text{см}}$$

$$V_{\text{ср.техн}} = \frac{1}{V_p \frac{S_p}{S_p + S_x} + V_x \frac{S_x}{S_p + S_x}}$$

Вопрос 4

Оптимальная (наилучшая из возможных, как правило по критерию максимума производительности агрегата) рабочая скорость движения МТА зависит от конструктивных характеристик энергосредства, характера протекания и особенностей технологического процесса, выполняемого рабочими машинами, входящими в состав агрегата.



Агротехнически допустимая скорость движения (v^{agr}) агрегата, та при которой технологический процесс выполняется с нормированными показателями качества, приводится, как правило, в инструкциях по эксплуатации рабочих машин, различного рода рекомендациях. Значение агротехнически допустимой скорости чаще всего определяются экспериментально и задаются в виде интервала от минимума до максимума.

Наилучшим вариантом выбора рабочей скорости является тот, при котором v_p равна максимальной агротехнически допустимой или близка к ней.

Максимально допустимая скорость агрегата по пропускной способности определяется по формуле (км/ч)

$$v_{p.nc} = \frac{360q_{\phi}}{B_p U_B}$$

q_{ϕ} – фактическая пропускная способность агрегата (рабочей машины), кг/с;

U_B – количество убираемого (перерабатываемого, разбрасываемого) материала, ц/га;

Максимально возможная скорость (км/ч) агрегата по мощности двигателя определяется по формуле

$$v_{p.макс}^N = \frac{3,6(N_{ен} - N_{ВОМ} / \eta_{ВОМ}) \eta_{пер} \eta_{\delta}}{R_a + R_{\varepsilon}}$$

где $N_{ен}$ – номинальная мощность двигателя энергосредства, кВт;

$\eta_{пер}$ – к.п.д. передачи от двигателя к ведущим колесам;

η_{δ} – к.п.д. буксования,

$$\eta_{\delta} = 1 - \frac{\delta}{100}$$

R_{ε} – сопротивление перемещению энергосредства, кН.

Правило выбора оптимальной рабочей скорости движения МТА

Оптимальная рабочая скорость агрегата - меньшая из трех

$$V_{\text{макс}}^{\text{агр}} ; \quad V_{\text{р.пс}} ; \quad V_{\text{р.макс}}^{\text{N}}$$