

ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»

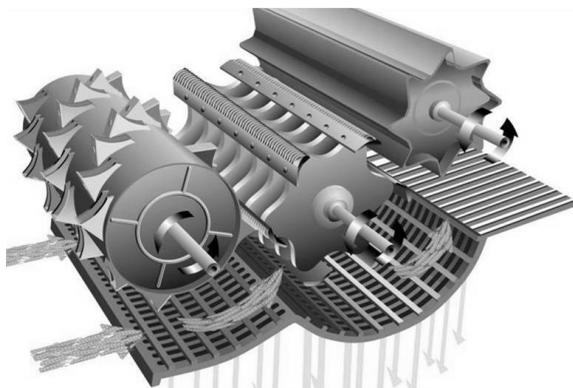
Инженерно-технологический институт

Кафедра технических систем в агробизнесе,  
природообустройстве и дорожном строительстве

**Кузнецов В.В.**

**Выбор рациональных режимов работы  
молотильного аппарата**

Методическое пособие и рабочая тетрадь  
к практическому занятию  
по дисциплине «Сельскохозяйственные машины»  
для студентов ВУЗов очного и заочного обучения  
по направлению бакалавриат 35.03.06 «Агроинженерия»,  
профиль образовательной программы «Технические системы  
в агробизнесе»



Брянск 2018

УДК 631.361.2 (076)

ББК 40.72

К 89

**Кузнецов, В.В. Выбор рациональных режимов работы молотильного аппарата:** методическое пособие и рабочая тетрадь / В.В. Кузнецов. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. – 16 с.

Методическое пособие в форме рабочей тетради к практическому занятию «Выбор рациональных режимов работы молотильного аппарата» по дисциплине «Сельскохозяйственные машины» для студентов ВУЗов очного и заочного обучения по направлению бакалавриат 35.03.06 «Агроинженерия», профиль образовательной программы «Технические системы в агробизнесе» помогает студенту получить практические навыки по компетенциям ПК-2, ПК-4, ПК-5, ПК-8 рабочего плана дисциплины.

Рецензент: к.т.н., доцент С. И. Будко

*Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института от 21.02.2018 года, протокол №7.*

© Кузнецов В.В., 2018

© Брянский ГАУ, 2018

## **Выбор рациональных режимов работы молотильного аппарата**

**Цель работы.** Проанализировать исходные данные, приобрести практические навыки выбора рациональных режимов работы молотильного аппарата исследовать качество технологического процесса и методы подготовки к профессиональной эксплуатации. Научиться определять режимы качественной и устойчивой работы молотильного аппарата в различных условиях.

### **Теоретическая часть**

От режима работы молотильного аппарата зависит качество обмолота и производительность молотильного устройства. Оптимальным следует считать режим, при котором обеспечивается максимальная производительность (пропускная способность) при удовлетворительном качестве обмолота, удовлетворяющем агротребованиям.

Одним из регулирующих параметров, определяющим пропускную способность и качество обмолота, является частота вращения барабана  $\omega$ . Пропускная способность и частота вращения барабана зависят от мощности, подводимой к барабану.

Взаимосвязь между подводимой мощностью, параметрами барабана - (частотой  $\omega$ , моментом инерции  $I$ ) и подачей хлебной массы раскрывается основным уравнением молотильного барабана ( впервые выведено В.П. Горячкиным ).

Суть этой теории состоит в том, что подводимая к барабану мощность  $N$  тратится на преодоление полезных  $N_{\Pi}$  и вредных  $N_{BP}$  сопротивлений, т.е.

$$N = N_{\Pi} + N_{BP} \quad (1)$$

При этом 
$$N_{\Pi} = P \cdot U, \quad (2)$$

где  $P$  – окружное усилие на барабане, Н;

$U$  – окружная скорость бил барабана, м / с.

Процесс обмолота заключается в нанесении ударов билами и протаскивании хлебной массы в молотильный зазор между барабаном и подбарабаньем. Суммарное окружное усилие  $P$  при этом

$$P = P_1 + P_2, \quad (3)$$

где  $P_1$  – сила ударов бил, Н;

$P_2$  – окружное усилие, возникающее за счёт преодоления сил трения при протаскивании массы в молотильном зазоре, Н.

Исходя из теории удара, можно получить

$$P_1 = q \cdot (V_2 - V_1), \quad (4)$$

где  $q$  - подача массы в молотильный аппарат, кг/с;

$V_1$  - скорость подачи массы в молотильный аппарат, м/с;

$V_2$  - приобретаемая скорость массы после удара билами, м/с.

У современных комбайнов  $V_1 = 3 \dots 5$  м/ с;  $V_2 = \alpha \cdot U$ ,

$\alpha = 0,5 \dots 0,85$  и зависит от скорости приемного битера, вида и состояния хлебной массы и направления подачи ее в молотильный аппарат. Подача может быть определена по выражению

$$q = 0.01 \frac{BV_m Q}{\beta} \quad (5)$$

где  $B$  – ширина захвата комбайна, м;

$V_m$  – скорость движения комбайна, м / с;

$Q$  - урожайность зерна, ц / га;

$\beta$  - содержание зерна в хлебной массе.

Усилие на протаскивание хлебной массы в молотильный зазор пропорционально общему окружному усилию и может быть выражено как

$$P_2 = fP \quad (6)$$

где  $f$  - коэффициент перетирания . Для бильного барабана  $f = 0,65 \dots 0,75$ .

К вредным сопротивлениям при работе относится трение в подшипниках барабана и сопротивление воздушного потока (при холостом ходе сопротивление молотильного аппарата аналогично сопротивлению вентилятора):

$$N_2 = A\omega + B\omega^3, \quad (7)$$

где  $A$  и  $B$  – экспериментальные коэффициенты .

С учетом всего изложенного первоначальная формула примет вид

$$N = \frac{q(V_2 - V_1)U}{1 - f} + A\omega + B\omega^3, \quad (8)$$

Экспериментально доказано, что  $V_2 - V_1 = \alpha' \cdot U$  , тогда формула (8) преобразуется

$$N = \frac{q\alpha'U^2}{1 - f} + A\omega + B\omega^3, \quad (9)$$

где  $\alpha'$  – коэффициент, учитывающий характер изменения скорости массы за время прохождения через молотильный зазор.

При известных значениях  $\alpha$  и скорости подачи  $V_1$  коэффициент  $\alpha'$  можно подсчитать по формуле

$$\alpha' = \alpha - \frac{V_1}{U}, \quad (10)$$

Такая же по величине мощность двигателя затрачивается и на разгон молотильного барабана при отсутствии подачи хлебной массы.

$$N = I\omega \frac{d\omega}{dt} + A\omega + B\omega^3 \quad (11)$$

Приравняв формулы (9) и (11), получим основное уравнение молотильного барабана

$$N = I\omega \frac{d\omega}{dt} + A\omega + B\omega^3 = \frac{q\alpha'U^2}{1-f} + A\omega + B\omega^3 \quad (12)$$

Из формулы (12) следует, что если подводимая к барабану мощность  $N$  превышает мощность сопротивлений, то барабан будет иметь ускорение разгона (приход ускорения).

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{N}{I\omega} \quad (13)$$

При этом  $\frac{d\omega}{dt} = F(\omega)$  представляет собой гиперболическую зависимость.

Из формулы (12) также следует, что если мощность сопротивлений будет больше подводимой мощности, то барабан будет иметь ускорение торможения (расход ускорения), величина которого определяется по формуле

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{q\alpha'U^2}{(1-f)I\omega} \quad (14)$$

Заменив  $U$  на  $\omega r$  ( $r$  – радиус барабана), получим

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{q \cdot \alpha' r^2}{I(1-f)} \omega, \quad (15)$$

Это уравнение представляет прямую, выходящую из начала координат (смотри рисунок 1). Точка  $A$  пересечения прямой и

гиперболы характеризует равенство подводимой и расходуемой энергии и соответствует критическому значению частоты вращения барабана  $\omega_{кр}$ .

При постоянной подаче рационально работать при  $\omega_{кр}$ . На практике же имеет место большая неравномерность подачи в пределах  $0,67 \dots 1,33 q$ . Поэтому, во избежание забивания барабана, рабочее значение  $\omega'_1$  должно соответствовать точке  $B$ , рассчитанной на неравномерность подачи до  $1,33q$ . Однако при этом должно соблюдаться условие

$$r\omega'_1 > [U] \quad (16)$$

где  $[U]$  - минимально допустимая окружная скорость барабана, при которой обеспечивается качественный технологический процесс, м/с.

Если условие выполняется, то необходимо уменьшить подачу  $q$  (скоростью движения комбайна), что позволит увеличить  $\omega$ , а следовательно, и окружную скорость барабана  $U$ . Допустимое значение окружной скорости  $[U]$  и угловой скорости  $[\omega]$  соответствует точке  $B_1$ . Проходящая через нее прямая характеризует расход ускорения при минимально допустимом значении окружной скорости барабана и соответствует минимуму подачи  $q_1'$  при обеспечении требуемой полноты обмолота и незабываемости молотильного аппарата.

Фактически же средняя рабочая подача будет в 1,33 раза меньше, т.е.

$$q = \frac{q_1'}{1,33} \quad \text{или} \quad q = 0,67q, \quad (17)$$

**Содержание работы.** Определить возможность выполнения технологического процесса обмолота для данных, указанных в варианте, для чего построить графики прихода и расхода ускорения, проверить соответствие рабочей частоты барабана, допустимой по технологическим условиям, и если условия не выполняются, то определить допустимую подачу и скорость

комбайна, при которой барабан будет работать в режиме устойчивого и качественного обмолота.

**Исходные данные.** Конструктивные, режимные и другие исходные данные по вариантам приведены в таблице 1. К исходным данным относятся:  $q_1$  - предлагаемая подача хлебной массы;  $D$  - диаметр барабана;  $[U]$  - минимальная окружная скорость барабана для обеспечения полного вымолота зерна;  $U_1$  - скорость подачи массы в молотильный аппарат;  $\alpha$  - коэффициент, характеризующий скорость массы в зависимости от скорости бича;  $f$  - коэффициент трения;  $J$  - приведенный момент инерции барабана;  $N_1$  - мощность на преодоление полезных сопротивлений;  $Q$  - урожайность культуры;  $B$  - ширина захвата жатки;  $\beta$  - доля зерна в хлебной массе.

**Порядок выполнения работы.** По формуле (13) рассчитайте график прихода ускорения в зависимости от  $\omega$ , задавая последнему значения в пределах  $50 \dots 140 \text{ с}^{-1}$ , и данные запишите в таблицу 2.

$$d\omega_1/dt =$$

$$d\omega_2/dt =$$

и т.д.

Таблица 1-Исходные данные по вариантам

Вариант	$q$ , кг/с	$D$ , мм	$[U]$ , м/с	$V_1$ , м/с	$\alpha$	$f$	$I$ , м <sup>4</sup>	$N_1$ , кВт	$Q$ , ц/га	$B$ , м	$\beta$
1.	4	450	25	3	0,7	0,65	8	4,1	20	3,2	0,25
2.	5	500	25	3,5	0,71	0,66	10	5,9	22	3,2	0,3
3.	6	550	26	4	0,62	0,67	12	6	24	4,1	0,35
4.	7	580	27	4,5	0,53	0,68	14	7,5	25	4,1	0,4
5.	8	600	28	4,8	0,54	0,69	16	7,2	26	5	0,45
6.	9	650	29	5	0,65	0,7	18	11	27	5	0,5

7.	10	700	30	5	0,6	0,71	20	14	28	6	0,45
8.	4,5	500	31	4,8	0,77	0,72	9	10,1	29	6	0,4
9.	5,5	530	32	3,2	0,68	0,73	11	6,9	30	3,2	0,35
10	6,5	580	25,5	3,4	0,59	0,74	13	8,4	31	4,1	0,3
11	7,5	600	27,5	3,6	0,5	0,75	15	5,5	32	5	0,3
12	8,5	620	28,5	3,8	0,51	0,72	17	11,6	33	6	0,35
13	9,5	680	29,5	4	0,62	0,7	19	14	34	5	0,45
14	4,2	480	30,5	4,2	0,8	0,68	8,5	8,4	35	4,1	0,25
15	5,2	500	31,5	4,6	0,84	0,66	10,5	13	36	3,2	0,3
16	6,2	540	25,8	3,3	0,75	0,63	13,5	10,2	37	3,2	0,35
17	7,2	560	26,8	3,5	0,62	0,65	15,5	8,5	34	4,1	0,4
18	8,2	600	28,8	3,9	0,5	0,67	16,5	6,5	38	5	0,45
19	9,2	640	29,8	4,1	0,58	0,69	18,5	11,5	32	6	0,45
20	4,4	480	30,8	4,3	0,76	0,71	8,5	8	31	3,2	0,4
21	5,4	560	31,8	4,7	0,64	0,73	11	9,5	30	6	0,35
22	6,4	600	25	4	0,52	0,75	13	6	29	4,1	0,4
23	7,4	650	26	4,7	0,6	0,65	15	8,9	28	4,1	0,45
24	8,4	700	27	3,7	0,63	0,7	17	8,4	27	6	0,5
25	4,6	530	28	3,9	0,7	0,75	8,5	6,1	26	6	0,3
26	5,6	580	29	4,1	0,67	0,73	12	10,1	24	5	0,35
27	7,6	600	30	4,3	0,5	0,75	15	6,5	25	5	0,4
28	6,8	620	31	4,7	0,6	0,77	14	7,5	24	4	0,45
29	6,6	650	32	3	0,7	0,76	12	8,5	23	4,1	0,35
30	10	600	30	5	0,6	0,7	14	8,2	22	4,2	0,46

Таблица2 - Точки графика прихода ускорения

$\omega, \text{c}^{-1}$	50	60	70	80	90	100	120	130	140
$\frac{d\omega}{dt}, \text{c}^2$									

Используя формулы (10) и (15), подсчитайте  $\alpha'$  и расход ускорения для заданной подачи  $q_1$  при одном значении  $\omega$ , например  $100 \text{ c}^{-1}$ , без учёта мощности на преодоление вредных сопротивлений.

$$\alpha' =$$

$$\frac{d\omega}{dt} =$$

На координатной бумаге (формат А4 ) постройте график прихода и расхода ускорения (рисунок 1) и на оси абсцисс отметьте точку  $\omega_{кр}$  .При этом шкалы графиков  $\frac{d\omega}{dt} = F(\omega)$  следует отсчитывать с нуля, что облегчит дальнейшее построение.

Используя  $[U]$ , рассчитайте и отметьте на оси абсцисс точку, соответствующую минимально допустимой угловой скорости барабана  $[\omega]$ .

$$[\omega] =$$

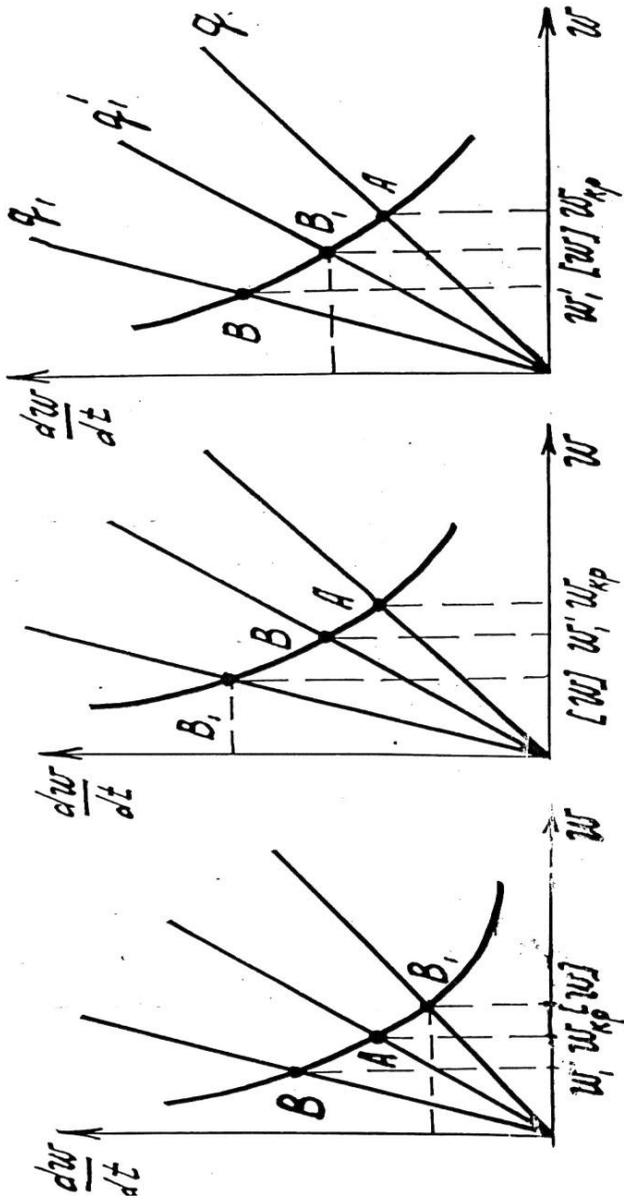


Рисунок 1 – Графики зависимости прихода и расхода ускорения от  $\omega$

Проверьте соблюдение условия  $\omega_{кр} \geq [\omega]$

Если условие рис.1 не выполняется, то определите максимально допустимую подачу  $q_1'$  и соответствующую ей скорость машины, для чего отметьте на параболе точку  $B$ , соответствующую  $[\omega]$  и проведите через нее прямую расхода мощности; определите величину максимальной подачи из формулы (15).

$$q_1' =$$

Определите величину рабочей подачи, уменьшив максимально допустимую подачу в 1,33 раза, постройте для неё график расхода ускорения и рассчитайте рабочую скорость машины по формуле (5).

$$q =$$

$$\frac{d\omega}{dt} =$$

Отметьте на рисунке 1 диапазон допустимых рабочих угловых скоростей барабана.

$$\omega_p =$$

$$V_m =$$

Рекомендуйте значение  $\omega_p$ , чтобы при любой подаче соблюдалось условие  $[\omega] \leq \omega_p \leq \omega_{кр}$ .  $\omega_p =$

## Выводы

---



---



---



---



## Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте общее устройство и принцип действия известных Вам типов молотильных аппаратов.
2. Охарактеризуйте вредные силы при работе молотильного аппарата и мощность на их преодоление.
3. Выведите выражение для определения силы удара бича о массу.
4. Выведите выражение для определения полезных сил трения при работе молотильного аппарата.
5. Приведите выражение для определения полной полезной силы сопротивления при работе молотильного аппарата.
6. Приведите выражение для определения полной мощности на преодоление сил сопротивления при работе молотильного аппарата.
7. Обоснуйте выражение мощности, требуемой на разгон молотильного барабана.
8. Выведите основное уравнение молотильного барабана.
9. Выведите выражение для определения величины прихода ускорения молотильного барабана.
10. Выведите выражение для определения величины расхода ускорения молотильного барабана.
11. Нарисуйте графики прихода и расхода ускорения молотильного барабана. Укажите на них  $\omega_{кр}$ .
12. Выведите выражение, связывающее энергоёмкость процесса обмолота с радиусом барабана.
13. Выведите выражение, связывающее производительность молотильного аппарата с радиусом барабана.
14. Обоснуйте рабочую угловую скорость молотильного барабана из условия незабывания и качественного обмолота.
15. Какие физико-механические свойства растений и как влияют на величину недомолота, сепарации и дробления зерна.
16. Какие конструктивные и динамические характеристики и как влияют на величину недомолота, сепарации и дробления зерна.
17. Как обосновываются основные конструктивные параметры зубового молотильного аппарата.
18. Как изменится  $\omega_{кр}$  при увеличении секундной подачи массы.
19. Расскажите методику определения максимально возможной секундной подачи массы в молотильный аппарат из условия незабываемости.
20. Обоснуйте рабочую угловую скорость молотильного барабана из условия отсутствия недомолота.

## Список литературы

1. Кленин Н.И., Киселев С.Н. Сельскохозяйственные машины: учеб. для вузов. М.: КолосС, 2008.
2. Гаврилов К.Л. Тракторы и сельскохозяйственные машины иностранного и отечественного производства: устройство, диагностика и ремонт: учеб. пособие. Пермь: Звезда, 2010.
3. Халанский В.М., Горбачёв И.В. Сельскохозяйственные машины: учеб. для вузов. СПб.: ООО Квадро, 2014.
4. Сельскохозяйственные машины. Технологические расчеты в примерах и задачах: учеб. пособие для вузов. СПб.: Проспект Науки, 2011.
5. Кузнецов В.В. Сельскохозяйственные машины. Сборник задач и тестов: учебное пособие. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2016. 100 с.
6. Кузнецов В.В. Сельскохозяйственные машины. Сборник лекций по дисциплине: методическое пособие. Ч. 1. Брянск: Изд.-во Брянский ГАУ, 2018. 145 с.

Вариант \_\_\_\_\_

Работу выполнил:

студент группы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Работу принял:

Дата \_\_\_\_\_

Учебное издание

Владимир Васильевич Кузнецов

**Выбор рациональных режимов работы  
молотильного аппарата**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
И РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ**

Редактор Лебедева Е.М.

---

Подписано к печати 26.03.2018 г. Формат 60x84. 1/16.

Бумага печатная Усл.п.л. 0,93. Тираж 25 экз. Изд. № 5617.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ