

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МОЛОТИЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ УБОРКЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

С.Н. Шуханов

д.т.н., профессор кафедры общеинженерной подготовки.
Филиал ФГБОУ ВО Иркутского национального
исследовательского технического университета,
г. Усолье – Сибирское



Подача хлебной массы, показатели эффективности работы молотилок, условия эксплуатации, параметры настройки молотилки

Supply of grain mass, parametres of overall performance of threshers, service conditions, para-metres of adjustment of a thrasher

В комбайнах и стационарных молотилках, молотильные аппараты которых оборудованы решетчатым подбарабаньем, значительная часть зерна отделяется от соломы еще в процессе обмолота. Дальше зерно выделяется в соломосепараторе. Качество его работы оценивается потерями зерна с соломой и засоренностью вороха, передаваемого на очистку. Кроме того, нужно учитывать приспособленность соломосепаратора к работе в различных условиях: на влажном и сухом хлебе, на полях с неровным рельефом и т.д.

Ворох, поступающий из молотильного аппарата, на соломотрясе подвергается следующими друг за другом встряхиваниям и ворошениям, при каждом из которых слой перемещается вдоль соломотряса к выходу из молотилки. Вероятность (w) просеивания зерна под соломотряс за одно встряхивание равна произведению вероятности α просеивания сквозь слой соломы и вероятности λ просеивания сквозь отверстия рабочей поверхности соломотряса:

$$w = \alpha * \lambda, \quad (1)$$

причем

$$\lambda = \frac{\sum F_{\text{отв}}}{F_c},$$

где $\sum F_{\text{отв}}$ – суммарная площадь отверстий рабочей поверхности соломотряса;

F_c – площадь рабочей поверхности соломотряса.

Если промежуток времени между встряхиваниями равен $\Delta t_{\text{вс}}$, то перемещение вороха вдоль соломотряса, при котором осуществится вероятность w , равно

$$l_{\text{вс}} = \Delta t_{\text{вс}} (v_{\text{пв}})_{\text{ср}}, \quad (2)$$

Вероятность просеивания на 1 м пути перемещения слоя вдоль соломотряса будет такой:

$$\mu = \frac{w}{\Delta t_{\text{вс}} (v_{\text{пв}})_{\text{ср}}}, \quad (3)$$

Для данного соломотряса вероятности w и μ зависят от толщины, состава, влажности, упругости и ряда других свойств слоя вороха. Процесс просеивания зерна на соломотрясе может быть охарактеризован дифференциальным уравнением

$$-\frac{dq}{dy} = \mu q_y, \quad (4)$$

где q_y – подача зерна на элемент соломотряса длиной dy , находящейся на расстоянии y от начала соломотряса.

Интегрируя дифференциальное уравнение, получаем

$$q_y = q_{3c} e^{-\mu y} \text{ и } q_{cx} = q_{3c} e^{-\mu L_c}, \quad (5)$$

где q_{cx} – сход зерна с соломотряса в кг/с;

q_{3c} – подача зерна на соломотряс в кг/с;

L_c – длина соломотряса в м.

Тогда сход зерна с соломотряса в процентах от зерна, определяется по формуле

$$P = (100 - b) e^{-\mu L_c}, \quad (6)$$

где: b – количество зерна, выделенного из вороха подбарабаньем молотильного аппарата, в процентах от поступившего в молотилку.

Длину соломотряса, обеспечивающую при заданной подаче потери не свыше допустимых, найдем из выражения [1]:

$$L_c = \frac{2 - \lg(p_0 \frac{100}{100 - b})}{0,4343 \mu}, \quad (7)$$

где p_0 – расчетные допустимые потери свободно-го зерна с соломой.

В первом приближении можно считать, что изменение коэффициента μ с толщиной слоя подчиняется следующей зависимости:

$$\frac{\mu_1}{\mu_0} = \left(\frac{H_0}{H_1} \right)^m, \quad (8)$$

где $m=0,8-1,2$, причем нижние значения относятся к легким условиям работы, а верхние – к тяжелым.

Значение коэффициента просеивания μ_0 , соответствующее толщине слоя H_0 , вычисляется на основании опытных данных по формуле:

$$\mu_0 = \frac{2 - \lg(p_0 \frac{100}{100 - b})}{0,4343 L_c}. \quad (9)$$

По опытным данным значения μ получены в довольно широких пределах: $\mu = 0,6 - 1,8$.

Очистка для выделения зерна из вороха, поступающего из под молотильного аппарата и соломотряса состоит из решетных станков на подвесках и вентилятора. Качество работы очистки зависит от воздушного потока, размеров решет и их отверстий и от кинематики решет.

В зависимости от качества вороха силу и направление воздушного потока, создаваемого вентилятором изменяют щитками, расположенными внутри канала вентилятора, открытием входных окон вентиляторов или изменением частоты вращения [2, 3].

В настоящее время ведущие фирмы оснащают тракторы и комбайны для обеспечения более эффективной работы электронными средствами

контроля и автоматизированного управления бортовыми компьютерами. Обеспечение качества выполнения технологической операции обеспечивается системой настройки параметров – скорость вращения молотильного барабана, вентилятора, очистки, регулировки зазоров открытия жалюзей, деки и др., которая обеспечивает поддержание равномерности потока хлебной массы и стабилизирует выделение зерна из соломистого вороха. В этом случае система управления контролирует нагрузку на механизм обмолота, а система поддержания постоянного потока зерна поддерживает эту нагрузку путем автоматического изменения скорости движения комбайна, а при стационарном обмолоте – скоростью подачи хлебной массы.

Функционирование молотилки можно представить в виде математической модели [4].

$$\varphi = f(z, x), \quad (10)$$

где φ – показатели эффективности работы молотилки (производительность по зерну, потери за молотилкой, потери за адаптером, величина сорной примеси в бункере, величина дробления зерна, удельный расход топлива);

z – условия эксплуатации (урожайность зерна, влажность его и соломы, коэффициент соломистости, засоренность и щуплость зерна);

x – параметры настройки молотилки (скорость движения, частота вращения барабана, вентилятора очистки, зазор на входе и выходе из молотильного аппарата, величина открытия жалюзи верхнего и нижнего решет и др.).

На основе этой модели возможно решить задачи оптимизации по трем группам параметров и составить алгоритм адаптивного управления технологическим процессом, выявить направление совершенствования технологии уборки зерновых культур и разработать технические средства для их реализации. С этой целью у современной техники широко используются средства автоматики для увеличения производительности и повышения качества работ.

Например, динамика системы регулирования подачи хлебной массы в молотильный аппарат может быть выражена в следующих безразмерных координатах:

$$\varphi_h = \frac{\Delta h}{h} \text{ – относительное изменение толщины слоя хлебной массы;}$$

$$\varphi_q = \frac{\Delta q}{q_0} \text{ – относительное изменение подачи}$$

хлебной массы в стационарную молотилку;

$$\varphi_v = \frac{\Delta v}{v_0} - \text{относительное изменение скорости движения хлебной массы в стационарную мотилку};$$

относительное изменение скорости движения хлебной массы в стационарную мотилку;

$$\varphi_\lambda = \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} - \text{относительное отклонение положения датчиков.}$$

положения датчиков.

В связи с тем, что датчик регистрирует изменение толщины слоя хлебной массы на транспортере, выходная координата φ_h изменяется пропорционально изменениям входной координаты с определенным запаздыванием. Элемент с запаздыванием можно представить как последовательное соединение двух элементов:

$$\varphi_{q(\tau)} = \varphi_q(t - \tau) \text{ и } \varphi_{h(\tau)} = k_h \varphi_{q(\tau)}. \quad (11)$$

Для элемента с запаздыванием передаточная функция равна [5]:

$$W_\tau(s) = e^{-\tau s}. \quad (12)$$

Поэтому связь между входной и выходной координатами в операторной форме элементов системы регулирования выглядит следующими параметрами:

$$\begin{cases} \varphi_{h(\tau)} = k_h \varphi_q e^{-\tau s} \\ (T_1^2 p^2 + T_2 p + 1) \varphi_\lambda = k_g \varphi_{h(\tau)}; \\ \sigma_3 = k_3 \varphi_\lambda; \\ T_c p \mu = \sigma_3; \\ \varphi_b = -k_b \mu; \\ (T_k p + 1) \varphi_v = k_k \varphi_b + \psi(t); \\ \varphi_q = k_q \varphi_v + f(t). \end{cases} \quad (13)$$

Если эту систему уравнений представить в изображениях переменных по Лапласу и решить ее относительно регулируемого параметра φ_q , то получим:

$$\begin{aligned} [T_c s(T_k s + 1)(T_1^2 s^2 + T_2 s + 1) + k e^{-\tau s}] \varphi_q &= \\ = [T_0 s(T_k s + 1)(T_1^2 s^2 + T_2 s + 1)] f(s) + \\ + T_c s(T_1^2 s^2 + T_2 s + 1) \psi(s). \end{aligned} \quad (14)$$

Передаточные функции этого уравнения для замкнутой системы регулирования будут:

$$W_f(s) = \frac{T_c s(T_k s + 1)(T_1^2 s^2 + T_2 s + 1)}{T_c s(T_k s + 1)(T_1^2 s^2 + T_2 s + 1) + k e^{-\tau s}}, \quad (15)$$

$$W_f(s) = \frac{T_c s(T_1^2 s^2 + T_2 s + 1)}{T_c s(T_k s + 1)(T_1^2 s^2 + T_2 s + 1) + k e^{-\tau s}}, \quad (16)$$

где T_i – постоянные времени(с);

k – безразмерные коэффициенты усиления.

Передаточная функция разомкнутой системы

$$W_0(s) = \frac{k e^{-\tau s}}{T_c s(T_k s + 1)(T_1^2 s^2 + T_2 s + 1)}, \quad (17)$$

а характеристическое уравнение:

$$T_c s(T_k s + 1)(T_1^2 s^2 + T_2 s + 1) + k e^{-\tau s} = 0 \quad (18)$$

При исследовании систем этого типа применяем амплитудно-фазовый критерий устойчивости, так как алгебраические выражения имеют бесчисленное количество корней.

Передаточные функции $W_0(s)$ разомкнутой системы можно представить в следующем виде:

$$W_0(s) = W_0^1(s) e^{-\tau s}, \quad (19)$$

где

$$W_0^1(s) = \frac{k}{T_c s(T_k s + 1)(T_1^2 s^2 + T_2 s + 1)},$$

для частотной характеристики при $s = iw$

$$W_0(iw) = W_0^1(iw) e^{-\tau(iw)}. \quad (20)$$

Если $A(w)$ – модуль функции $W_0^1(iw)$, а $\varphi(w)$ ее аргумент, то

$$W_0^1(iw) = A(w) e^{i\varphi(w)}. \quad (21)$$

Поэтому

$$W_0(iw) = A(w) e^{[i\varphi(w) - \tau w]}.$$

Таким образом, модули векторов $W_0^1(iw)$ и $W_0(iw)$ для каждого значения частоты одинаковы, а аргументы отличаются на фазу $w\tau$.

Для устойчивости системы с запаздыванием, как в нашем случае, необходимо, чтобы амплитудно-фазовая характеристика $W_0(iw)$ пересекла вещественную ось U в пределах отрезка от начала координат до точки с абсциссой, равной $U = -1$.

Система автоматического регулирования режимов обмолота измельченного вороха при стационарной обработке всего биологического урожая снизит сходы свободного зерна в солому, недомолот и обеспечит устойчивую работу пневмоконвейера соломы и половы.

Литература

1. Турбин, Б.Г. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет [Текст] / Б.Г. Турбин, А.Б. Лурье, С.М. Григорьев, Э.М. Иванович, С.В. Мельников; под ред. Б.Г. Турбина. – Ленинград: «Машиностроение», 1967. – 583 с.
2. Поляков, Г.Н. Обоснование исходных требований на сепаратор измельченного вороха зерновых и зернобобовых культур [Текст] / Г.Н. Поляков // Кубанский СХИ, 1988. – Вып. 284/312. – С. 44-55.
3. Поляков, Г.Н. Обоснование и расчет параметров обогатителя зернового вороха [Текст] / Г.Н. Поляков // Механизация и электрификация с.-х. производства в условиях Восточной Сибири. Юбилейный сборник науч.тр. – Иркутск: ИрГСХА, 1999. – С. 40-43.
4. Болоев, П.А. Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в условиях Восточной Сибири [Текст] / П.А. Болоев, С.Н. Шуханов, Г.Н. Поляков // Аграрный научный журнал.– 2015. – №10. – С. 31–34.
5. Крутов, В.И. Автоматическое регулирование ДВС [Текст] / В.И. Крутов. – М., 1968. – 535 с.

References

1. Turbin, B.G. Sel'skhozjajstvennyye mashiny. Teorija i tehnologicheskij raschet [Tekst] / B.G. Turbin, A.B. Lur'e, S.M. Grigor'ev, Je.M. Ivanovich, S.V. Mel'nikov; pod red. B.G. Turbina. – Leningrad: «Mashinostroenie», 1967. – 583 s.
2. Poljakov, G.N. Obosnovanie ishodnyh trebovanij na separator izmel'chennogo voroha zernovyh i zernobobovyh kul'tur [Tekst] / G.N. Poljakov // Kubanskij SHI, 1988. – Вып. 284/312. – С. 44-55.
3. Poljakov, G.N. Obosnovanie i raschet parametrov obogatitelja zernovogo voroha [Tekst] / G.N. Poljakov // Mehanizacija i jelektrifikacija s.-h. proizvodstva v uslovijah Vostochnoj Sibiri. Jubilejnyj sbornik nauch.tr. – Irkutsk: IrGSHA, 1999. – С. 40-43.
4. Boloev, P.A. Resursosberegajushhie tehnologii vzdelyvanija zernovyh kul'tur v uslovijah Vostochnoj Sibiri [Tekst] / P.A. Boloev, S.N. Shuhanov, G.N. Poljakov // Agrarnyj nauchnyj zhurnal.– 2015. – №10. – С. 31–34.
5. Krutov, V.I. Avtomaticheskoe regulirovanie DVS [Tekst] / V.I. Krutov. – М., 1968. – 535 s.



ОБЪЯВЛЕНИЕ



В издательстве ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА в 2015 г. вышла монография «Совершенствование зерноуборочного комбайна: конструктивная компоновка, теория и расчёт. Часть 1» / В.А. Николаев.

В части 1 монографии показана конструктивная компоновка новых зерноуборочных комбайнов, рассмотрены теоретические проблемы, связанные с их расчётом, произведён расчёт жатки, наклонного транспортёра, устройства извлечения зерновок из колосьев, верхнего диаметального вентилятора. В части 2 будут исследованы: сепарация зернового вороха, сушка зерна в комбайне и другие процессы.

Монография предназначена для научных работников, аспирантов, студентов агроинженерных специальностей и специалистов сельского хозяйства.

Монография содержит: 124 рисунка, 6 таблиц, в списке литературы 8 наименований.

УДК 621.436.018; ББК 40.722;

ISBN 978-5-98914-144-9; 252 стр. (твёрдый переплет)

ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ ОБРАЩАТЬСЯ ПО АДРЕСУ:

150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58,

ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА

e-mail: e.bogoslovskaya@yarcx.ru


