

4. Metodika opredeleniia energeticheskoi effektivnosti primeneniia mineralnykh, organicheskikh i izvestkovykh materialov / BelNIIPA. – Minsk, 1996. – 50 s.

5. Metodika resursno-ekologicheskoi otsenki effektivnosti zemledeliia na bioenergeticheskoi osnove / VNIIZiZPE. – Kursk, 1999. – 48 s.

6. Iakovlev D.A. Sravnitelnaia energootsenka rabochikh organov posevnykh mashin dlia priamogo poseva v usloviakh razlichnogo uvlazhneniia pochv / D.A. Iakovlev, V.I. Beliaev, R.E. Prokopchuk // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – No. 6 (188). – S. 144-150.

7. Bachurin R.N. Energootsenka mashinno-traktornogo agregata pri vnesenii zhidkikh mineralnykh udobrenii / R.N. Bachurin, V.I. Beliaev, D.N. Pirozhkov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – No. 11 (181). – S. 144-149.

8. Sadov V.V. Sravnitelnaia otsenka kombikormovykh agregatov na etape kontseptualnogo proektirovaniia / V.V. Sadov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – No. 10 (156). – S. 144-150.

9. Zavora V.A. Osnovy teoreticheskogo obosnovaniia prodolzhitelnosti vypolneniia mekhanizirovannykh работ v rastenievodstve / V.A. Zavora, S.N. Vasilev, N.S. Malikova, I.I. Baueer // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – No. 2 (136). – S. 138-141.

10. Kurbanov R.F. Otsenka znachimosti faktorov, vliiaushchikh na vybor resursosberegaiushchikh tekhnologii v rastenievodstve / R.F. Kurbanov, P.A. Savinykh, V.N. Nechaev, M.L. Nechaeva // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – No. 2 (136). – S. 145-151.

11. Pirozhkov D.N. Osnovy teoreticheskogo obosnovaniia tekhnicheskogo osnashcheniia rastenievodstva agrarnogo predpriiatiia // D.M. Pirozhkov, V.I. Beliaev, V.A. Zavora // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – No. 3 (137). – S. 166-169.

12. Mindrin A.S. Ergoekonomicheskaiia otsenka selskokhoziaistvennoi produktsii / RASKhN. VNIITUSKh. – Moskva, 1997. – 197 s.

13. Metodika opredeleniia ekonomicheskoi effektivnosti tekhnologii i selskokhoziaistvennoi tekhniki. Ch. 2: normativno-spravochnyi material. – Moskva, 1998. – 251 s.



УДК 681.5.011

Ц.И. Калинин, Р.А. Куницын
Ts.I. Kalinin, R.A. Kunitsyn

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИКИ С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕХОДНОЙ И ЧАСТОТНОЙ ФУНКЦИЙ

IDENTIFICATION OF AUTOMATION OBJECTS BY USING THE TRANSITION AND FREQUENCY FUNCTIONS

Ключевые слова: объект автоматике, идентификация, переходная и частотная функции, функция Лапласа, годограф.

Keywords: automation object, identification, transition and frequency functions, Laplace function, hodograph.

Развитие цифровой электроники привело к улучшению качества микроконтроллеров, что сделало возможным эффективно решать задачу управления на базе цифровых систем автоматического управления. В то же время успешное их решение невозможно без получения и использования адекватного математического описания (идентификации объектов и систем автоматизации). Методы идентификации объектов во многих случаях удобно классифицировать по области описания математической модели: в области времени изображений и частотной области. Методы временной группы обладают сравнительно невысокой помехоустойчивостью и в общем случае требуют значительных вычислительных затрат. Использование аппарата Z преобразования применяется для идентификации моделей цифровых объектов. Представление модели объектов и систем при помощи частотных характеристик, хотя требуют необходимости вычисления амплитудных и фазовых характеристик, является наиболее употребимым в инженерной практике в настоящее время. Несмотря на разнообразие и сложность реальных объектов управления используются, как правило, только 2 структуры математических моделей: модель первого порядка с задержкой (запаздыванием) и модель второго порядка как запаздыванием, так и без него. В предлагаемой работе изложены основные приемы использования временных и частотных методов для идентификации объектов на основе модели первого порядка с запаздыванием и модели второго порядка без запаздывания как возможного аналога модели первого порядка с запаздыванием. Преобразование дифференциальных уравнений по преобразованиям Лапласа дает возможность ввести понятие передаточной функции, характеризующей динамические свойства любого элемента САУ. С помощью передаточных функций расчет системы упрощается и становится до-

ступным широкому кругу инженерно-технических работников.

The development of digital electronics has led to the improvement in the quality of microcontrollers which has made it possible to effectively solve the problem of control based on digital automatic control systems. At the same time, their successful solution is not possible without obtaining and using an adequate mathematical description (identification of objects and automation systems). The methods for identifying objects in many cases are convenient to be classified regarding the areas of description of a mathematical model: in the time domain of images and in the frequency domain. Time group methods have relatively low noise immunity and generally require significant computational costs. The use of the Z transformation device is used to identify the models of digital objects. The representation of the model of objects and systems using frequency characteristics, although they require the calculation of the amplitude and phase characteristics, is the most commonly used in engineering practice at the present time. Despite the variety and complexity of real control objects, as a rule, only two structures of mathematical models are used: a first-order model with a delay and a second-order model with or without delay. This paper describes the main techniques for using time and frequency methods for identifying objects based on the first-order model with delay and the second-order model without delay as a possible analog of the first-order model with delay. The transformation of differential equations by the Laplace transform makes it possible to introduce the concept of a transfer function that characterizes the dynamic properties of any ACS element. With the help of transfer functions, the calculation of the system is simplified and becomes available to a wide range of engineering and technical workers.

Калинин Цезарь Иванович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: kalinin_vezar@mail.ru.

Куницын Роман Александрович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: kynizin_roman@mail.ru.

Kalinin Tsezar Ivanovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: kalinin_vezar@mail.ru.

Kunitsyn Roman Aleksandrovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: kynizin_roman@mail.ru.

Введение

Показатели качества систем автоматического управления (САУ) определяют исходя из динамических свойств объектов управления, которые в свою очередь, выражают в виде математической модели. Поэтому вопросы идентификации (точного определения математической модели) имеют исключительно важное значение при анализе и синтезе систем автоматизации.

В процессе проектирования систем автоматизации одновременно с теоретическими исследованиями проводятся эксперименты по опреде-

лению и уточнению (идентификации) математической модели системы автоматизации [1].

В инженерной практике наиболее широко применяют методы идентификации по передаточной функции Лапласа, полученной с помощью переходной и частотной характеристик в виде графических построений, в том числе амплитудно-фазочастотных характеристик (АФЧХ), разомкнутой и замкнутой САУ и логарифмических амплитудно-частотных, фазочастотных характеристик разомкнутой САУ [2].

Однако наличие значительного запаздывания объектов автоматизации не позволяет исполь-

зовать графические методы идентификации для ряда частотных методов исследования [3].

Исходя из вышесказанного целью работы является расширение графических методов идентификации статических объектов при наличии запаздывания.

С целью достижения поставленной цели необходимо решение ряда научных задач:

1) выполнить анализ идентификации статических объектов первого и второго порядков по переходной и частотной функциям;

2) разработать методику определения передаточной функции объекта второго порядка по годографу объекта первого порядка с запаздыванием, второго порядка без запаздывания.

Объект и методы исследования

Объектом исследования является динамика процесса нагрева.

В инженерной практике обычно исследуют динамические свойства объекта путем построения кривой «разгона». Для инерционного звена первого порядка такая кривая изображена на рисунке 1.

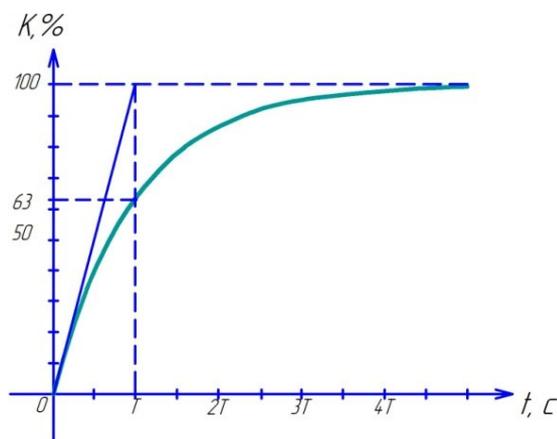


Рис. 1. Кривая разгона объекта первого порядка

Переходная функция объекта первого порядка имеет вид:

$$y(t) = k(1 - e^{-t/T}), \quad (1)$$

или в виде преобразования Лапласа (передаточная функция)

$$W(S) = L[y(t)] = W(S) \cdot X(S) = \frac{W(S)}{S} = \frac{K}{S \cdot (T \cdot S + 1)}. \quad (2)$$

Таким образом, выражение 2 примет вид:

$$W(S) = \frac{K}{TS + 1}. \quad (3)$$

Представляет собой передаточную функцию первого порядка, $x(S) = \frac{1}{S} = L$ (единичная ступенька) является изображением ступенчатого

входного сигнала. Видно, что при $t=T$ функция $y(t)$ равна:

$$y(t) = K(1 - e^{-1}) = K(1 - 0,37) = 0,63K.$$

Согласно графику кривой разгона определяет величины динамических показателей объекта: t – запаздывание переходного процесса во времени, T – постоянная времени инерции объекта, K – коэффициент передачи. При этом постоянную инерции T можно определить как отрезок времени, за которое кривая разгона достигает 63% установившейся величины либо как проекция на ось времени касательной к кривой разгона (рис. 1).

Точка пересечения соответствует времени T с момента подачи входного воздействия, так как наклон кривой при $t=0$ равен выражению:

$$\left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=0} = \frac{K}{T} e^{-\frac{t}{T}} \Big|_{t=0} = \frac{K}{T}. \quad (4)$$

Изменение наклона во времени выражается следующим образом:

$$\Phi(t) = \frac{\Delta + kt}{T}. \quad (5)$$

при $t=T$ наклон достигает величины K .

Наиболее полное представление о динамических свойствах объекта может быть получено из анализа его амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФЧХ). В частотном методе идентификации полагается, что на вход подается синусоидальный сигнал, частота которого изменяется в рассматриваемом диапазоне [4].

Полученные при различных частотах входных колебаний отношение амплитуд

$$\frac{A_{\text{ВЫХ}}}{A_{\text{ВХ}}} = K(\omega)$$

и разности фаз

$$\varphi(\omega) = \varphi_{\text{ВЫХ}} - \varphi_{\text{ВХ}}.$$

Можно рассматривать как характеристики вектора

$$K_{\omega} e^{j\varphi(\omega)} = K(j\omega)$$

и изобразить его графически. Модуль его $K(j\omega)$ определяет отношение колебаний, а аргумент $\varphi(\omega)$ – разность фаз.

Конфигурация АФЧХ (годограф) характеризует динамические свойства объекта автоматики при гармонических колебаниях (с частотой ω) в диапазоне от 0 до ∞ .

АФЧХ звена автоматики может быть построена аналитическим путем, если известно уравнение звена и, следовательно, и его передаточная функция. Осуществив в передаточной функции подстановку $G = j\omega$, находят выражение комплексной частотной функции звена [5]:

$$W(j\omega) = \frac{R(j\omega)}{J(j\omega)} = W(\omega)e^{j\varphi(\omega)}, \quad (6)$$

где $R(j\omega)$ – вещественная часть функции;
 $I(j\omega)$ – мнимая часть функции.

Затем в $\omega(j\omega)$ подставляют значения ω от 0 до ∞ и строят для каждой частоты вектор $W(j\omega)$. Геометрические место концов таких векторов есть АФЧХ звена. Таким образом получили выражение:

$$W(j\omega) = P(\omega + jS(\omega)). \quad (7)$$

В случае инерционного звена первого порядка без запаздывания при экспоненциальной переходной характеристике его АФЧХ имеет следующий вид (рис. 2).

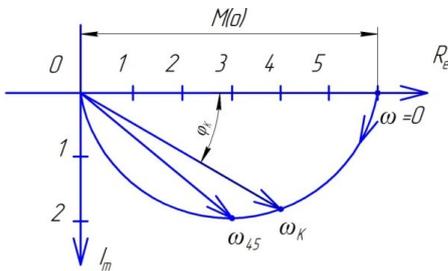


Рис. 2. Амплитудно-фазовая частотная характеристика (годограф) инерционного объекта первого порядка для экспоненциальной переходной характеристики

Коэффициент передачи объекта равен:

$$K_{об} = M(0) \frac{\text{ед. изм. величины}}{\% \text{ хода}}$$

то есть радиусу-вектору АФЧХ при частоте $W=0$.

Постоянная времени объекта:

$$T = \frac{tg \varphi_K}{\omega_K}, \quad (8)$$

где ω_K – частота одной из точек АФЧХ;

φ_K – соответствующей ей угол сдвига фаз.

Очевидно, что для частоты ω_{45} со сдвигом фазы $\varphi = 45^\circ$:

$$T = \frac{1}{\omega_{45}}, \text{ сек.} \quad (9)$$

При экспоненциальной переходной функции объекта, например, при $K=2$ $T=0,63K=1,26$ с и, соответственно, $\omega_{45} = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,26} = 0,79 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, передаточная функция $W(S) = \frac{K}{TS+1} = \frac{2}{1,26S+1}$, что подтверждает значение $\omega_{45} = 0,79$, найденное из переходной характеристики.

В случае переходной функции неэкспоненциальной формы, что присуще большинству технологических объектов, задача усложняется и может быть решена только через общее решение по передаточной функции. Например [6]

$$W(S) = \frac{2}{3S+1}. \quad (10)$$

Значение $T=3$ не равно $0,63K$ и, соответственно, получаем: $W(S) = \frac{K}{1+Tj\omega'}$,

$$\text{где } R_e = \frac{K}{1+T^2\omega^2} = \frac{2}{1+9\omega^2}, \quad I_m = \frac{KT\omega}{1+T^2\omega^2} = -\frac{6\omega}{1+9\omega^2}.$$

Годографы более сложных статических объектов, то есть объектов более высоких порядков или объекта первого порядка с чистым запаздыванием и объекты второго порядка без запаздывания, представлены на рисунке 3 [6].

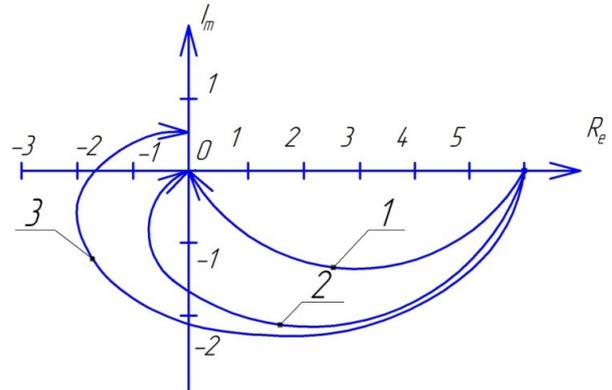


Рис. 3. Годографы статического объекта второго порядка и объекта первого порядка с запаздыванием:

- 1 – годограф инерциального звена первого порядка без запаздывания;
- 2 – годограф инерциального звена первого порядка с запаздыванием;
- 3 – годограф инерциального звена второго порядка без запаздывания

С достаточной для практики степенью точности их можно приближенно рассматривать как объекты первого порядка с запаздыванием или объекты второго порядка.

При аппроксимации реального объекта элементарными звеньями чистого запаздывания инерционного объекта первого порядка значение динамических параметров объекта T, τ и $K_{об}$ определяется непосредственно по экспериментальным значениям показательной и частотной функции, как это рассматривалось выше. Если объект аппроксимируется 2 элементарными звеньями первого порядка, включенными последовательно (то есть вторым порядком), его передаточная функция имеет вид:

$$W(S) = \frac{K_{об}}{T_2^2 S^2 + T_1 S + 1}, \quad (11)$$

где $K_{об} = M(\omega_0)$ – коэффициент передачи;

$T_2 = \frac{1}{\omega_{90}}$ – частота рад/с, которая соответствует фазовому сдвигу $\varphi^0 = 90^\circ$.

Очевидно, что ω_0 представляет собой частоту, соответствующую точке пересечения годографа с отрицательной ветвью минимальной оси J_m , и ее нетрудно определить по экспериментальному годографу либо из сдвига фаз $\varphi_{cm} = 45^\circ$ из уравнения смещения годографа за счет запаздывания [8]:

$$\Delta\varphi_{cm} = 57\omega_i\tau \text{ рад,}$$

или

$$\varphi_{cm} = 57tg\varphi_i \frac{\tau}{T_i} \text{ рад,}$$

где φ_{cm} – угол смещения для частоты ω_i ;

57° – перевод значений частоты рад/с, град/с;

T_i – показатель инерции объекта, с.

При $\varphi_{cm} = 45^\circ$ получим:

$$\omega_{90} = \frac{45^\circ}{57\tau} \text{ рад/сек.}$$

$$T_1 = \frac{M(\omega_0)}{M(\omega_{90})} T_2, \text{ постоянная времени } T_1, \text{ сек.}$$

Входящее в уравнение отношение $\frac{M(\omega_0)}{M(\omega_{90})}$ модулей радиус-векторов равно $2D$.

$$\frac{M(\omega_0)}{M(\omega_{90})} = 2D, \quad (12)$$

где D – степень демпфирования (показатель затухания) переходного процесса передаточной функции второго порядка.

Очевидно, что из полученной передаточной функции можно получить уравнение второго порядка вида:

$$a_2 \frac{dx}{dt^2} + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x = y(t),$$

его коэффициенты равны [3]:

$$a_0 = \frac{1}{M(0)}; \quad a_1 = \frac{1}{M(\omega_{90})} \cdot \left(\frac{1}{\omega_{90}}\right);$$

$$a_2 = \frac{1}{M(0)} \cdot \left(\frac{1}{\omega_{90}}\right)^2.$$

Для проверки вышеизложенного вычислим коэффициенты передаточной функции (T_1, T_2) объекта второго порядка по годографу передаточной функции объекта первого порядка с затуханием вида:

$$W(S) = \frac{Ke^{-\tau S}}{TS+1} = \frac{4e^{-\tau S}}{3S+1}, \quad (13)$$

при $K=4, \tau=1 \text{ с. } T=3 \text{ с.}$

После преобразования оператора передаточной функции S на $j\omega$ имеем:

$$R_e = \frac{4}{1+9\omega^2}; \quad (14)$$

$$I_m = -\frac{12\omega}{1+9\omega^2}. \quad (15)$$

В заданном интервале ω построенный годограф показан на рисунке 3.

Заключение

Сравнительная оценка показывает, что годограф первого порядка с запаздыванием практически совпадает с годографом объекта второго порядка без запаздывания (τ) в области малых частот $\omega_0 \div \omega_{90}$ и значительно отличается в области высоких частот. Это позволяет с достаточной для практики точностью использовать 2 вида передаточных функций для идентификации объекта: инерционного первого порядка с запаздыванием и аналогичного инерционного второго порядка без запаздывания.

Библиографический список

1. Глебов, Р. С. Практические аспекты идентификации математической модели вентиляционной установки / Р. С. Глебов, М. П. Туманов, С. С. Антюшин. – Текст: непосредственный // Естественные и технические науки. – 2012. – № 2 (58). – С. 330-340.
2. Системы автоматизированного управления объектов с переменными параметрами: инженерные методы анализа и синтеза / Б. Н. Петров, Н. И. Соколов, А. В. Липатов [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1986. – 256 с. – Текст: непосредственный
3. Калинин, Ц. И. Курсовое и дипломное проектирование по автоматике: учебное пособие / Ц. И. Калинин, Р. А. Куницын, А. А. Багаев. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2013. – 72 с. – Текст: непосредственный.
4. Марков, А. В. Параметрическая идентификация динамических объектов по фазочастотным характеристикам / А. В. Марков, В. И. Симаньков. – Текст: непосредственный // Доклады БГУИР. – 2015. – № 3 (89). – С. 29-35.
5. Дель, Торо В. Принципы проектирования систем автоматического управления / В. Дель Торо, В. Р. Паркер. – Москва: Машгиз, 1963. – 560 с. – Текст: непосредственный
6. Эриот, П. Регулирование производственных процессов / П. Эриот; перевод с английского А. Я. Серебрянского. – Москва: Энергия, 1967. – 480 с. – Текст: непосредственный.
7. Зайцев, Г. Ф. Основы автоматического управления и регулирования / Г. Ф. Зайцев, В. И. Костюк, П. И. Чинаев. – Киев: Техніка, 1975. – 495 с. – Текст: непосредственный.
8. Копелович, А. П. Инженерные методы расчета при выборе автоматических регуляторов / А. П. Копелович. – Москва: Металлургиздат, 1960. – 190 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Glebov R.S. Prakticheskie aspekty identifikatsii matematicheskoi modeli ventilatsionnoi ustanovki. – Tekst: neposredstvennyi / R.S. Glebov, M.P. Tumanov, S.S. Antiushin. – Moskva: Estestvennye i tekhnicheskie nauki, 2012. – No. 2 (58). – S. 330-340.
2. Petrov B.N. Sistemy avtomatizirovannogo upravleniia obiektov s peremennymi parametrami: inzhenernye metody analiza i sinteza – Tekst: neposredstvennyi. / B.N. Petrov, N.I. Sokolov, A.V. Lipatov i dr. – Moskva: Mashinostroenie, 1986. – 256 s.
3. Kalinin Ts.I. Kursovoe i diplomnoe proektirovanie po avtomatike / Ts.I. Kalinin, R.A. Kunitsyn, A.A. Bagaev. – Barnaul: RIO AGAU, 2013. – 72 s. – Tekst: neposredstvennyi.
4. Markov A.V. Parametricheskaia identifikatsiia dinamicheskikh obiektov po fazochastotnym kharakteristikam / A.V. Markov, V.I. Simankov. – Minsk: Belorusskii gosudarstvennyi universitet informatiki i radioelektroniki. – 2015. – No. 3 (89). – S. 29-35.
5. Del Toro V. Printsipy proektirovaniia sistem avtomaticheskogo upravleniia. – Tekst: neposredstvennyi / V. Del Toro, V.R. Parker. – Moskva: Mashgiz, 1963. – 560 s.
6. Eriot P. Regulirovanie proizvodstvennykh protsessov. – Tekst: neposredstvennyi / P. Eriot. Per. s angl. A.Ia. Serebrianskogo. – Moskva: Energiia, 1967. – 480 s.
7. Zaitsev G.F. Osnovy avtomaticheskogo upravleniia i regulirovaniia. – Tekst: neposredstvennyi / G.F. Zaitsev, V.I. Kostiuik, P.I. Chinaev. – Kiev: Tekhnika, 1975. – 495 s.
8. Kopelovich A.P. Inzhenernye metody rascheta pri vybore avtomaticheskikh regulatorov. – Tekst: neposredstvennyi / A.P. Kopelovich. – Moskva: Metallurgizdat, 1960. – 190 s.



УДК 631.362

С.В. Леканов, Н.И. Стрикунов, Р.А. Куницын
S.V. Lekanov, N.I. Strikunov, R.A. Kunitsyn

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ КУЛЬТУР

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF SEED CLEANING SEEDS OF GRAIN AND INDUSTRIAL CROPS

Ключевые слова: зерноочистительный агрегат, сортировальное отделение, решетная очистка, воздушная очистка, целевая фракция, циклон, секция бункера, завальная яма, семяочистительная машина.

В модернизированном агрегате воплощены основные проектные решения по компоновке машин и технологического оборудования. При проектировании объекта учитывались требования по производительности и качеству выполняемых технологических операций, а также технические возможности зерноочистительных машин агрегата и транспортно-технологического оборудования. Принятая компоновка машин и оборудования, а также накопительных и компенсационных емкостей позволяет работать агрегату по нескольким вариантам технологий. Металлизированная завальная яма выполнена в проездном варианте, позволяет улучшить истечение зерна, снизить его травмирование, что является важным параметром при подготовке семян. Обеспечена технологическая надежность завальной ямы за счет увеличения углов откосов, что позволяет улучшить самопроизвольное истечение зернового материала даже при повышенной его влажности. Недопустимо по

требованиям безопасности нахождение человека внутри завальной ямы, обеспечивающего принудительную подачу зерна в загрузочную норию. Для загрузочной норрии увеличены размеры приямка на 0,5 м, что обеспечивает удобство в обслуживании норрии. Тщательно проработан вариант монтажа машины предварительной очистки на бункере для сбора «мертвого сора». Предусмотрен проезд под этим бункером для вывоза отходов автотранспортом, можно использовать транспортную тележку. Циклоны аспирационной системы этой машины монтируются на герметичном бункере, расположенном за пределами здания агрегата. На этом же бункере монтируются циклоны машины первичной очистки. Отходы машины первичной очистки накапливаются в бункере, разделенном перегородкой на 2 секции. На бункере чистого зерна монтируются триерные блоки. Этот бункер имеет 2 выпускных патрубка, оснащенных задвижками. Семяочистительные машины МВУ-1500 смонтированы на 2 бункерах, а циклоны их аспирационной системы – на бункере, установленном за пределами здания агрегата. Оба отделения связаны между собой пешеходным переходом, размещенным вдоль стены здания.