

и взаимно между собой не увязаны. Становится очевидной необходимость решения научно-технической проблемы повышения безопасности труда операторов сельскохозяйственной техники, состоящей в разработке единой методологической концепции оценки состояния и прогнозирования безопасности труда на основе вероятностных методов для определения ожидаемого количества несчастных случаев и тяжести их последствий на рассматриваемом сельскохозяйственном объекте.

#### Литература

1. СТБ 18001-2005 Системы управления охраной труда. Общие требования.
2. Асаенок А.И. Профессиональные риски: методика анализа и управления / А.И. Асаенок, Е.Е. Кученева, А.Ф. Минаковский. – Минск: Бестпринт, 2009.
3. Юсупов, Р.Х. Производственная среда предприятия АПК как информационная динамическая система при анализе и прогнозировании травматизма и профессионально-обусловленной заболеваемости // Р.Х. Юсупов, А.В. Зайншев, Ю.Г. Горшков. Москва: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009.
4. Федорчук, А.И. Теоретические основы охраны труда в сельском хозяйстве / А.И. Федорчук // Монография. – Минск: 2004.

УДК 681.51

### СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

*Кулаков Г.Т., д.т.н., проф., Кулаков А.Т., к.т.н., доц.  
Белорусский национальный технический университет  
Ковалев В.А., к.т.н., доц. (БГАТУ)*

Большинство технологических процессов, в том числе и в АПК, имеют запаздывание по каналу регулирующего воздействия, которым нельзя пренебречь, поскольку их влияние на динамику процесса весьма велико. Так, например, величина максимальной динамической ошибки регулирования системы при отработке крайнего внешнего возмущения, приложенного к выходу объекта регулирования, в первую очередь определяется величиной запаздывания по каналу регулирующего воздействия.

Для автоматизации таких объектов широкое распространение получили двухконтурные системы автоматического регулирования, расчет параметров динамической настройки которых осуществляется по известным методам [1]. Эти методы основаны на экспериментальных переходных характеристиках объектов регулирования с запаздыванием по каналу регулирующего воздействия, передаточные функции которых аппроксимируются, например, в виде инерционного звена второго порядка с запаздыванием [2]:

$$W_{об}(p) = \frac{K_o e^{-\tau_y p}}{(T_1 p + 1)(\sigma p + 1)}, \quad (1)$$

где  $K_o$  - коэффициент передачи объекта;  $T_1, \sigma$  - соответственно большая и меньшая постоянные времени передаточной функции;  $\tau_y$  - время условного запаздывания объекта по каналу регулирующего воздействия.

В качестве примера рассмотрим систему автоматического регулирования (САР) с дифференцированием промежуточного сигнала, структурная схема, которой приведена на рис.1.

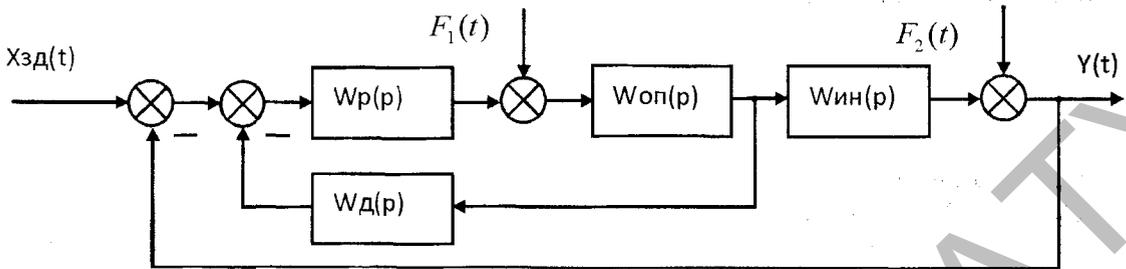


Рисунок 1 – Структурная схема САР с дифференцированием промежуточного сигнала

Здесь передаточная функция опережающего участка имеет вид:

$$W_{on}(p) = \frac{K_{on}}{(T_{on}p + 1)(\sigma_{on}p + 1)} = \frac{4,6}{(19,1p + 1)(3p + 1)}, \quad (2)$$

где  $K_{on}$  - коэффициент передачи опережающего участка;  $T_{on}, \sigma_{on}$  - соответственно большая и меньшая постоянные времени передаточной функции опережающего участка.

Передаточная функция инерционного участка объекта представлена инерционным звеном второго порядка с запаздыванием:

$$W_{ин}(p) = \frac{K_{ин} e^{-\tau_y p}}{(T_{ин}p + 1)(\sigma_{ин}p + 1)} = \frac{1,02e^{-70,7p}}{(126,3p + 1)(21,3p + 1)}, \quad (3)$$

где  $K_{ин}$  - коэффициент передачи инерционного участка;  $T_{ин}, \sigma_{ин}$  - соответственно большая и меньшая постоянные времени передаточной функции инерционного участка.

Крайнее внешнее возмущающее воздействие  $F_2(t)$  имеет вид инерционного звена первого порядка:

$$W_s(p) = \frac{K_s}{T_s p + 1} = \frac{5}{30p + 1}, \quad (4)$$

где  $K_s$  - коэффициент передачи;  $T_s$  - постоянная времени.

Параметры динамической настройки дифференциатора рассчитаны методом полной компенсации в частном виде по передаточной функции инерционного участка объекта (3) на оптимальную обработку крайнего внешнего возмущения [2]:

$$W_d(p) = \frac{K_d T_d p}{T_d p + 1} = \frac{0,96 * 147,6 p}{147,6 p + 1}, \quad (5)$$

где  $K_d$  - коэффициент передачи дифференциатора;  $T_d$  - время дифференцирования.

Регулятор с ПИ-алгоритмом регулирования был рассчитан методом частичной компенсации [2] по передаточной функции опережающего участка объекта регулирования (2) с учетом найденного значения коэффициента передачи дифференциатора  $K_d$ . На оптимальную обработку внутреннего возмущения  $F_1(t)$ :

$$W_p(p) = \frac{K_p (T_{И} p + 1)}{T_{И} p} = \frac{1,2(10,2 p + 1)}{10,2 p}, \quad (6)$$

где  $K_p$  - коэффициент передачи ПИ-регулятора;  $T_{ин}$  - время интегрирования.

При обработке задающего воздействия типовой САР с инерционным участком объекта в виде инерционного звена второго порядка время регулирования составляет 697 сек. (кривая 1, рис.2) с максимальным перерегулированием 16% при степени затухания процесса, равным 1.

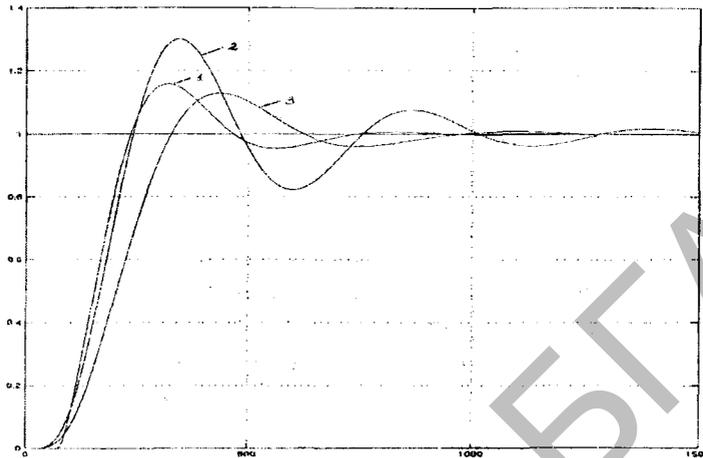


Рисунок 2 – Графики отработки системой задающего воздействия: 1 – типовая САР с передаточной функцией инерционного участка (3); 2 – типовая САР с передаточной функцией инерционного участка в виде  $n$  последовательно соединенных инерционных звеньев первого порядка с одинаковыми постоянными времени (7); 3 – САР с дифференциатором, параметры динамической настройки, которой оптимизированы по предлагаемому способу.

В этом случае полное время отработки системой крайнего внешнего возмущения  $F_2(t)$  составляет 958 с (кривая 2, рис.2). При этом максимальная величина динамической ошибки регулирования достигает 94,4%, а степень затухания переходного процесса составляет 0,95.

Вместе с тем, передаточную функцию инерционного участка (3), используя методику, приведенную в [3], можно представить в виде  $n$  последовательно соединенных инерционных звеньев первого порядка с одинаковыми постоянными времени  $T_0$ :

$$W_{ин}(p) = \frac{K_{ин}}{(T_0 p + 1)^n} = \frac{1,02}{(41,6 p + 1)^5} \quad (7)$$

Такая передаточная функция более соответствует физической сущности динамики многих объектов регулирования. Если оставить параметры динамической настройки типовой САР (рис.1) прежними, а при моделировании системы регулирования использовать передаточную функцию (7), то, как при отработке скачка задающего воздействия (кривая 2, рис.2), так и при отработке крайнего внешнего возмущения  $F_2(t)$  (кривая 2, рис.3), степень затухания переходного процесса уменьшится до 0,75 при отработке задающего воздействия и до 0,82 при отработке крайнего внешнего воздействия.

Для устранения этого недостатка, передаточную функцию (7) приведем к виду инерционного звена первого порядка с запаздыванием [4]:

$$W_{ин}^*(p) = \frac{K_{ин} e^{-\tau_1 p}}{T_1 p + 1} \quad (8)$$

где  $\tau_1$  - время запаздывания;  $T_1$  - постоянная времени.

Согласно [3]:

$$T_1 = \sqrt{n}T_0 = 93 \text{ с}; \quad \tau_1 = nT_0 - T_1 = T_0(n - \sqrt{n}) = 115 \text{ с}. \quad (9)$$

численные значения, которых гарантируют совпадение амплитудно-частотных характеристик инерционного участка в области низких и средних частот для передаточных функций (7) и (8).

В результате чего параметры динамической настройки дифференциатора по методу полной компенсации примут вид [2]:

$$T_d = \tau_1 = 115 \text{ с}; \quad (10)$$

$$K_d = \frac{2K_{ин}T_1}{\tau_1} = \frac{2 * 1,02 * 93}{115} = 1,65. \quad (11)$$

Это позволяет, при обработке системой задающего воздействия, уменьшить время регулирования с 1473 с до 920 с, т.е. в 1,6 раза с повышением степени затухания  $\psi$  с 0,75 до 1,0 (кривая 3, рис.2). При обработке внешнего возмущения время регулирования уменьшается в 1,2 раза с увеличением степени затухания  $\psi$  с 0,87 до 0,97. Это решает проблему повышения устойчивости и качества регулирования.

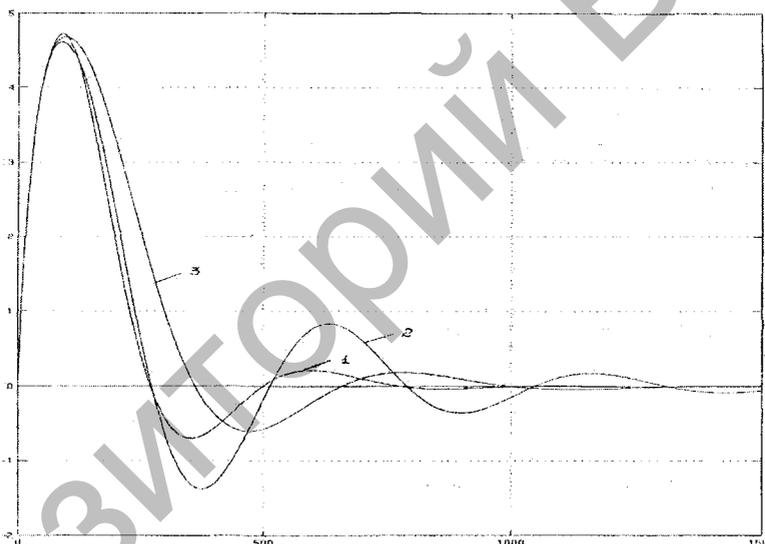


Рисунок 3 – Графики отработки системой крайнего внешнего возмущения  $F_2(t)$ : 1 – типовая САР с передаточной функцией инерционного участка (3); 2 – типовая САР с передаточной функцией инерционного участка в виде  $n$  последовательно соединенных инерционных звеньев первого порядка с одинаковыми постоянными времени (7); 3 – САР с дифференциатором, параметры динамической настройки, которой оптимизированы по предлагаемому способу.

Таким образом, предложен способ улучшения качества систем автоматического регулирования для объектов представленных в виде  $n$  последовательно включенных инерционных звеньев первого порядка.

#### Литература

1. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления [Текст]: учеб. пособие для специальности «Автоматизация технологических процессов и производств»/И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков.- Минск: БГТУ, 2006.- 486 с.

2. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования [Текст]: учеб. пособие/Г.Т. Кулаков. – Минск: УП «Технопринт», 2003.-135с.

3. Теория автоматического управления. Лабораторные работы для студентов специальности 1-53 01 04 «Автоматическое управление теплотехническими объектами на ТЭС на стенде тренажере систем автоматизации отопления и горячего водоснабжения» [Текст]: /Г.Т. Кулаков, М.С. Горельшева, Н.В. Воюш. - Минск: БНТУ, 2010. – 35с.

4. Власов-Власюк, О.Б. Экспериментальные методы в автоматике [Текст]: / О.Б. Власов-Власюк. - М.: Машиностроение, 1969. – 375с.

УДК 631.171:658.011.54]:633/635

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

*Бусел И.П., к.э.н., доцент, Крук И.С., к.т.н., доцент, Мучинский А.В., к.т.н., доцент;  
Гарустович Т.Г., Тарасевич И.А. (БГАТУ)*

Себестоимость, как известно, состоит из прямых и приведенных издержек. Точку рентабельности (безубыточности)  $T_B$  производства сельскохозяйственной продукции можно определить либо из рисунка 1, либо по формуле

$$T_B = \frac{U_{const}}{C_p - U_{привед}}, \quad (1)$$

где  $U_{const}$  – постоянные издержки (отчисления на амортизацию, ремонт, хранение, управление, страхование);

$C_p$  – цена реализации продукции;

$U_{привед}$  – приведенные затраты (стоимость горюче-смазочных материалов, семян, удобрений, средств защиты, заработная плата, отчисления на социальные нужды).

Слева от точки  $T_B$  находится зона убытков, справа – зона прибыли. Из данного графика имеем, с одной стороны, что при вложении дополнительной единицы затрат, урожайность увеличивается на величину  $\Delta U$ , при реализации которой дополнительные вложения могут окупаться или быть убыточными. С другой – что для определенных условий производства, можно найти величину затрат, которую необходимо вложить, чтобы получить требуемую урожайность. Однако можно сделать вывод, что если нами получена урожайность  $U_2$ , а точка рентабельности соответствует урожайности  $U_1$ , то наши затраты окупятся при реализации валового сбора, соответствующего  $V_1 \cdot S$  по цене реализации  $C_p$ , а прибыль составит величину, соответствующую произведению объема реализации  $(U_2 - U_1) \cdot S$  на всю ту же цену.