

**НЕЛИНЕЙНОЕ КВАЗИОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ЛЕНТОЧНЫМ КОНВЕЙЕРОМ КОМПЛЕКСА
НАПОЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ ЗЕРНА**

И. М. ГОЛОДНЫЙ, кандидат технических наук, доцент
*Национальный университет биоресурсов
и природопользования Украины*

А. В. ТОРОПОВ, кандидат технических наук, доцент

Л. В. ТОРОПОВА, ассистент

*Национальный технический университет Украины
"КПИ им. И. Сикорского"*

E-mail: golodnyi@ukr.net, toropovtosha@ukr.net, liliaya@ukr.net

Аннотация. *В настоящее время все большее распространение получают комплексы напольного хранения зерна. Одним из наиболее энергоёмких узлов является ленточный конвейер для равномерного распределения зерна по всей длине комплекса. Наиболее энергоэффективным режимом работы такого конвейера является режим стабилизации производительности.*

В то же время, практическая реализация систем управления для стабилизации количества зерна является относительно сложной задачей. Датчики для непосредственного измерения объема сыпучих грузов требуют значительных капиталовложений и в сельскохозяйственных комплексах применяются крайне редко. Другой проблемой, препятствующей использованию данного оборудования, является сложность разработки самого алгоритма управления загрузкой конвейера вследствие наличия звена чистого запаздывания в контуре регулирования.

Целью исследования является разработка близкой к оптимальной системы управления производительностью ленточного конвейера, обеспечивающей снижение энергопотребления комплекса. При этом, для получения алгоритма управления использован метод Беллмана–Ляпунова с использованием концепции метода «погружения». Исходная задача синтеза для нелинейного объекта представлена в виде семейства линейных задач аналитического конструирования.

Далее осуществлено «сшивание» полученных решений на основе закона оптимального изменения коэффициентов обратных связей. В результате, для контура стабилизации производительности конвейера полученный регулятор описывается

нелинейной зависимостью от переменных состояния. Преимущество использования синтезированного регулятора подтверждается результатами цифрового моделирования конвейера транспортировки зерна.

Ключевые слова: *ленточный конвейер, метод Беллмана–Ляпунова, метод «погружения», стабилизация производительности, напольное хранение зерна*

Актуальность. В настоящее время все большее распространение получают комплексы напольного хранения зерна. В них применяется автоматизированная загрузка/выгрузка зерна, при этом обеспечивается хорошая наполняемость пространства зернохранилища [1]. Одним из перспективных направлений в развитии средств автоматизации для перемещения зерна является применение регулируемого электропривода для изменения скорости конвейеров и механизмов перемещения распределительных узлов. Они позволяют обеспечить надежную защиту двигателей от перегрева, перегрузок, пониженного напряжения, плавный разгон и замедление механизма без существенных рывков ленты. Также можно добиться существенного снижения энергопотребления при использовании регулируемого электропривода с целью обеспечения стабилизации количества транспортируемого зерна. Такие системы управления производительностью рекомендованы к использованию на больших складах напольного хранения, где длина конвейера достигает 150–200 метров, а подача зерна непостоянна.

В то же время, практическая реализация систем стабилизации количества зерна является относительно сложной задачей. Датчики для непосредственного измерения объема сыпучих грузов требуют значительных капиталовложений и в сельскохозяйственных комплексах применяются крайне редко. Поэтому, в качестве обратной связи по количеству зерна используется сигнал с преобразователя частоты по моменту нагрузки, позволяющий оценить массу транспортируемого груза с достаточно высокой точностью.

Другой проблемой является сложность разработки самого алгоритма управления загрузкой конвейера вследствие наличия звена чистого запаздывания в контуре регулирования. Для компенсации запаздывания в конвейерных системах небольшой длины используются линейные регуляторы с дифференциальной составляющей. При увеличении времени запаздывания применение таких регуляторов становится неэффективным и качество переходных процессов далеко от оптимального.

Анализ последних исследований и публикаций. Задача регулирования загрузки систем непрерывного транспорта широко рассматривается в работах [3, 4]. В них решается задача синтеза линейно-квадратичных регуляторов загрузки, в которой существующие нелинейности рассматриваются как минимизируемые управляющие воздействия. Внешние возмущения, действующие на контур, также принимаются минимизируемыми по квадратичному критерию оптимальности. В этом

случае, при решении задачи поиска оптимального регулятора обеспечивается минимум функционала качества лишь при минимальном влиянии возмущений и нелинейностей [5]. Следовательно, полученные ранее решения задачи аналитического конструирования регуляторов дают наилучший результат лишь при незначительных колебаниях количества подаваемого зерна с нории.

Цель исследования – снижение энергопотребления за счет оптимизации системы управления производительностью оборудования.

Материалы и методы исследования. Синтез квазиоптимального регулятора проводился методом Беллмана-Ляпунова с использованием концепции метода «погружения». Исследования переходных процессов электропривода конвейера проводились с помощью статических методов обработки результатов исследований компьютерной модели в системе MatLab.

Результаты исследований и их обсуждение. Одним из наиболее популярных подходов синтеза оптимальных регуляторов для непрерывных технологических процессов для систем с чистым запаздыванием является процедура аналитического конструирования [6]. При этом осуществляется минимизация функционала качества для объекта, описываемого системой дифференциальных уравнений. С точки зрения повышения надежности и энергоэффективности конвейерной системы в качестве минимизируемого функционала целесообразно использовать критерии динамической точности и минимума энергетических затрат на управление.

Контур стабилизации загрузки ленточного конвейера с учетом чистого запаздывания перемещения имеет вид, представленный на рис.1.

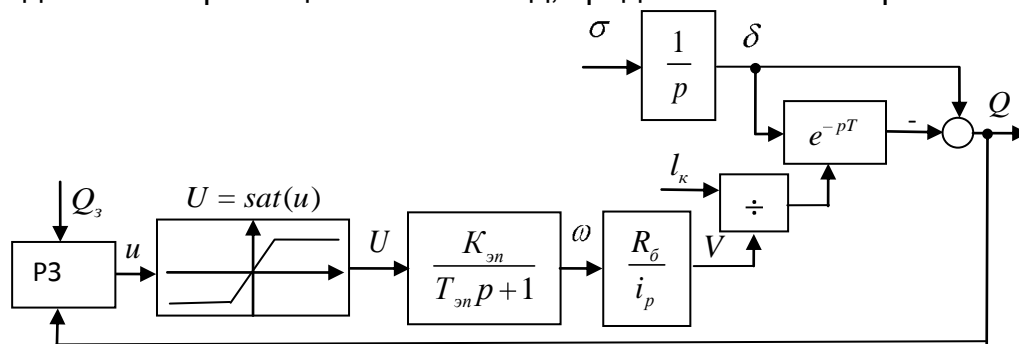


Рис. 1. Схема контура стабилизации загрузки ленточного конвейера комплекса напольного хранения зерна:

Q_3, Q – заданное и текущее количество зерна на конвейере; δ – количество зерна, погруженного на конвейер; σ – мгновенное количество зерна, подаваемого с нории на конвейер; l_k – длина конвейера; R_σ – радиус приводного барабана; i_p – передаточное число редуктора; $K_{эн}, T_{эн}$ – коэффициент усиления и постоянная времени электропривода, настроенного на апериодический характер переходного процесса; V – линейная скорость ленты; ω – скорость вращения двигателя приводного барабана; $U = sat(u)$ – управляющее воздействие на выходе блока типа «ограничение», u – выходное воздействие регулятора загрузки.

Аналитическое конструирование регуляторов широко распространено для линейных систем и квадратичных функционалов качества [7]. В случае существования нелинейных некомпенсируемых зависимостей в модели объекта, задача синтеза оптимального управления существенно усложняется. Поэтому, для использования вышеуказанного подхода необходимо получить линеаризованную с достаточной точностью математическую модель объекта, а также выбрать общий вид минимизируемого функционала качества.

Зависимость текущей загрузки конвейерной ленты от мгновенного количества зерна, поступающего с нории, определяется выражением:

$$Q = (1 - e^{-pT})\delta \quad (1)$$

Раскладываем составляющую e^{-pT} в ряд Тейлора, при этом ограничимся ее первыми двумя составляющими. При учете интегральной составляющей загрузки получим:

$$Q = (1 - e^{-pT})\delta = (1 - \frac{1}{e^{pT}})\delta = (\frac{e^{pT} - 1}{e^{pT}})\delta \approx (\frac{1 + pT - 1}{1 + pT})\delta = \frac{T}{Tp + 1} \sigma \quad (2)$$

Время чистого запаздывания является величиной, обратно пропорциональной скорости $T = l_k i_p R_0^{-1} \omega^{-1}$. Поэтому, запишем дифференциальное уравнение, описывающее инерционность процесса загрузки зерна в нормальной форме Коши:

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{R_0}{l_k i_p} \omega Q + \sigma \quad (3)$$

При апериодическом характере изменения скорости конвейера от управляющего сигнала, получим:

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{1}{T_{эн}} \omega + \frac{K_{эн}}{T_{эн}} sat(u) \quad (4)$$

Система дифференциальных уравнений в нормальной форме Коши, описывающая поведение ленточного конвейера для непрерывной транспортировки зерна запишется:

$$\left. \begin{aligned} x_1' &= -a_1 x_1 + \sigma; \\ x_2' &= -a_2 x_2 + sat(u), \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где $x_1 = Q$, $x_2 = \omega$, $a_1 = l_k^{-1} R_0 i_p^{-1}$, $a_2 = T_{эн}^{-1}$, $b = K_{эн} T_{эн}^{-1}$.

Минимизируемый функционал качества, обеспечивающий динамическую точность и минимум энергетических затрат на управление:

$$\min_u J = \int_0^{\infty} (\alpha_1 x_1^2 + \alpha_2 x_2^2 + cu^2) dt \quad (6)$$

где α_1 , α_2 , c – весовые коэффициенты, определяющие ограничения на переменные состояния и управление, соответственно.

Далее осуществим линеаризацию составляющей x_1x_2 , входящей в первое дифференциальное уравнение системы, а также нелинейности типа «насыщение». Для первой нелинейности осуществляется линеаризация «в точке» [8], например, в точке номинального режима работы конвейера. При этом, $x_1x_2 = a_1(x_1, x_2)x_1 + a_2(x_1, x_2)x_2$, где $a_1(x_1, x_2)$, $a_2(x_1, x_2)$ – коэффициенты линеаризации «в точке». Для задачи максимизации загрузки конвейера второй подход является более предпочтительным. В случае наличия нелинейности типа «ограничение», целесообразно осуществлять линеаризацию нелинейности методом «секущих» [9]. При этом можно записать, что $sat(u) = b(u)u$, где $b(u)$ – коэффициент линеаризации, зависящий от управляющего воздействия. Система линеаризованных дифференциальных уравнений, описывающая динамику конвейера с учетом чистого запаздывания перемещения зерна, запишется:

$$\left. \begin{aligned} x_1' &= -a_1(x_1, x_2)x_1 - a_2(x_1, x_2)x_2 + \sigma; \\ x_2' &= -a_3x_2 + b(u)u. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Величина σ является возмущающим воздействием и при осуществлении процедуры синтеза не учитывается. В соответствии с методикой, изложенной в [10], процедуру синтеза с использованием метода «погружения» можно представить в виде следующей последовательности этапов.

Первый этап. Осуществляется решение задачи аналитического конструирования для линеаризованной системы (7) и квадратичного функционала при $a_1(x_1, x_2) = a_{1M}$, $a_2(x_1, x_2) = a_{2M}$, $b(u) = b_M$ для решения задачи «в малом» и $a_1(x_1, x_2) = a_{1B}$, $a_2(x_1, x_2) = a_{2B}$, $b(u) = b_B$ для решения задачи «в большом». При этом решается классическая задача А. М. Летова и находится алгоритм оптимального управления. Уравнения регулятора при решении задачи в «малом» и «в большом» запишутся в виде

$$u_M = K_{1M}x_1 - K_{2M}x_2; \quad (8)$$

$$u_B = K_{1B}x_1 - K_{2B}x_2, \quad (9)$$

где K_{1M} , K_{2M} , K_{1B} , K_{2B} – коэффициенты обратных связей.

Далее определяются новые допустимые управления и осуществляется сшивание «мгновенных значений» управляющих воздействий u_M и u_B , справедливых для различных областей фазового пространства. Коэффициенты регулятора K_1, K_2 являются функциями переменных состояния, поэтому управляющими воздействиями полагаем вариации $\Delta K_1, \Delta K_2$. Тогда управление «в большом» принимает вид:

$$u_B = K_{1M}x_1 - K_{2M}x_2 + \Delta K_1x_1 - \Delta K_2x_2. \quad (10)$$

Минимизируемый неклассический функционал (критерий обобщенной работы Красовского) [11], используемый для ограничения вариаций коэффициентов обратных связей, имеет вид:

$$\min_{\Delta K_1, \Delta K_2} J = \int_0^{\infty} \left[\alpha_1 x_1^2 + \alpha_2 x_2^2 + c_1 \Delta K_1^2 + c_2 \Delta K_2^2 + \frac{x_1^2}{4c_1} \cdot \left(b_B \frac{\partial V}{\partial x_2} \right)^2 + \frac{x_2^2}{4c_2} \cdot \left(b_B \frac{\partial V}{\partial x_2} \right)^2 \right] dt. \quad (11)$$

Подставляя (10) в (8) и (9), получим:

$$\left. \begin{aligned} x_1' &= -a_{1B}x_1 - a_{2B}x_2; \\ x_2' &= -a_3x_2 - b_B(K_{1M}x_1 - R_{2M}x_2 + \Delta K_1x_1 - \Delta K_2x_2). \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Для системы уравнений (12) и минимизируемого функционала (11) составим функциональное уравнение Беллмана:

$$\begin{aligned} \min_{\Delta K_1, \Delta K_2} [& \alpha_1 x_1^2 + \alpha_2 x_2^2 + c_1 \Delta K_1^2 + c_2 \Delta K_2^2 + \frac{x_1^2}{4c_1} \cdot \left(b_B \frac{\partial V}{\partial x_2} \right)^2 + \frac{x_2^2}{4c_2} \cdot \left(b_B \frac{\partial V}{\partial x_2} \right)^2 + \\ & + \frac{\partial V}{\partial x_1} \cdot (-a_{1B}x_1 - a_{2B}x_2) + \frac{\partial V}{\partial x_2} \cdot (-a_3x_2 - b_B(K_{1M}x_1 - K_{2M}x_2 + \Delta K_1x_1 - \Delta K_2x_2))] = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

Реализуя процедуру минимизации, получим:

$$\Delta K_1 = \frac{b_B}{2c_1} \cdot \frac{\partial V}{\partial x_2} \cdot x_1, \Delta K_2 = -\frac{b_B}{2c_2} \cdot \frac{\partial V}{\partial x_2} \cdot x_2. \quad (14)$$

Подставляем уравнения (14) в (13) и получаем модификацию уравнения Гамильтона – Якоби – Беллмана в замкнутой форме.

$$\alpha_1 x_1^2 + \alpha_2 x_2^2 + \frac{\partial V}{\partial x_1} \cdot (-a_{1B}x_1 - a_{2B}x_2) + \frac{\partial V}{\partial x_2} \cdot (-a_3x_2 - b_B(K_{1M}x_1 - K_{2M}x_2)) = 0 \quad (15)$$

Решение уравнения (15) будем искать в виде квадратичной формы

$$V(x_1, x_2) = K_{11}x_1^2 + 2K_{12}x_1x_2 + K_{22}x_2^2. \quad (16)$$

Подставляем производные от квадратичной формы в уравнение Гамильтона – Якоби – Беллмана (15), находим коэффициенты квадратичной формы и подставляем их в уравнение регулятора.

Уравнение регулятора в общем виде примет вид:

$$u = K_{1C}x_1 - K_{2C}x_2 + \left(\frac{b_B}{c_1} x_1^2 + \frac{b_B}{c_2} x_2^2 \right) (K_{1C}x_1 - K_{2C}x_2), \quad (17)$$

где K_{1C} , K_{2C} – коэффициенты квадратичной формы, полученные при «сшивании» решений.

Исследование динамических характеристик системы с синтезированным регулятором проводилось методом цифрового моделирования с применением пакета MATLAB. На рис. 2 представлен график процесса работы конвейера при запуске без нагрузки при использовании ПИД-регулятора количества зерна. При этом в системе имеет место перерегулирование, которое может компенсироваться лишь существенным затягиванием переходного процесса. Параметры ПИД-регулятора определялись с помощью блока автоматической настройки параметров Signal Constraint при реакции на ступенчатое изменение задания, реализованного в MATLAB. Использование нелинейного квазиоптимального регулятора позволило существенно улучшить качество переходного процесса, практически исключить перерегулирование.

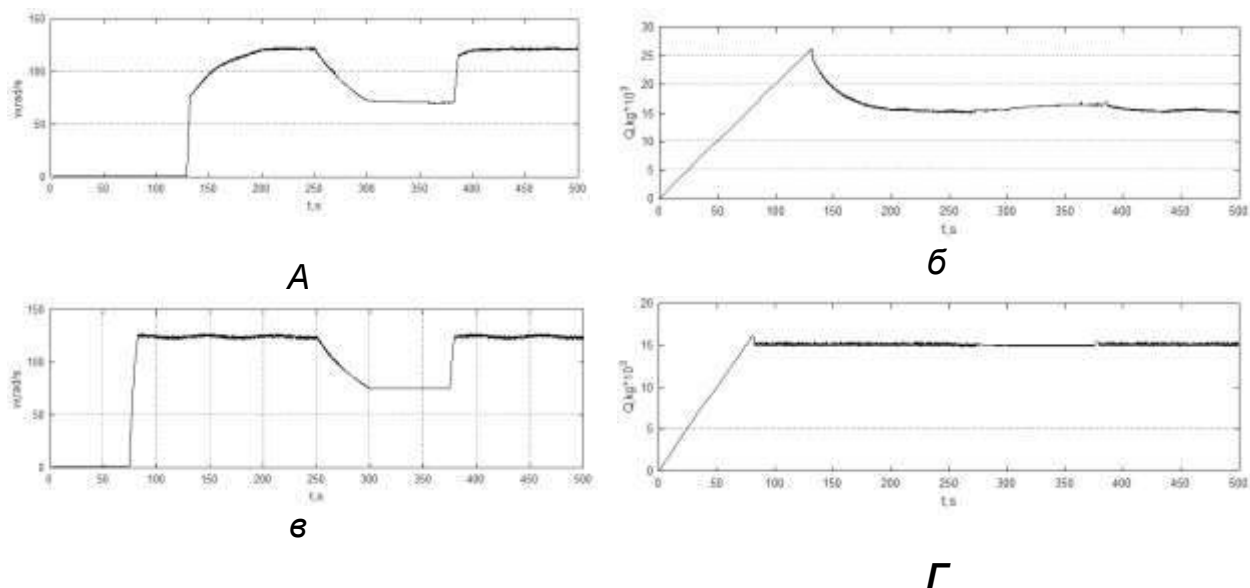


Рис. 2. Графики переходных процессов при заполнении пустого конвейера:

а – по скорости при использовании ПИД-регулятора; б – по загрузке при использовании ПИД-регулятора; в – по скорости при использовании нелинейного регулятора; г – по загрузке при использовании нелинейного регулятора

Выводы и перспективы. Применение линеаризации «в точке» и методом «секущих» позволило применить для контура регулирования загрузки конвейера процедуру аналитического конструирования оптимального регулятора. В результате синтеза регулятора для линеаризованной системы получен закон нелинейного квазиоптимального управления, включающий сигнал по загрузке и скорости электродвигателя конвейера, достаточно просто реализуемый на современных программируемых контроллерах, управляющего всем комплексом хранения зерна. Качество переходных процессов в контуре при использовании нелинейного квазиоптимального регулятора существенно выше, чем при использовании классического ПИД-регулятора. Дальнейшее улучшение динамических показателей системы возможно при использовании более полной математической модели конвейера и синтеза регулятора с учетом упругости ленты.

Список литературы

1. Склад напольного хранения на наклонном днище [Электронный ресурс]. – URL: <http://zeo.ua/katalog-oborudovaniya/hranenie-zerna/sklad-napolnogo-hraneniya-zeo-fs>
2. Инструкция по эксплуатации преобразователя частоты SMVector [Электронный ресурс]. – URL : http://www.lenze.org.ua/pdf/manual_smvector_rus.pdf
3. Дмитриева В. В. Автоматическая стабилизация погонной нагрузки ленточного конвейера / В. В. Дмитриева, Л. Д. Певзнер. – М. : Препринт, 2004. – 25 с.
4. Боровикова А. П. Разработка и исследование системы автоматического управления загрузкой магистральной конвейерной линии / А. П. Боровикова, А. Е. Ткаченко, К. Н. Маренич // Автоматизация

технологических объектов и процессов. Поиск молодых : сборник научных трудов XVII научно-технической конференции аспирантов и студентов, г. Донецк, 24–25 мая 2017 г. – Донецк : ДонНТУ, 2017. – 409 с.

5. Печеник М. В. Дослідження втрат енергії в електромеханічній системі конвеєра при плавній зміні навантаження / М. В. Печеник, С. О. Бур'ян, Л. М. Наумчук // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2015. – Вип. 2. – С. 67–73.

6. Колесников А. А. Новые нелинейные методы управления полетом / А. А. Колесников. – М. : Физматлит, 2013. – 196 с.

7. Летов А. М. Динамика полета и управление / А. М. Летов. – М. : Наука, 1969. – 359 с.

8. Петраков Ю. В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням / Ю. В. Петраков. – К. : УкрНДІАТ, 2003. – 383 с.

9. Гельднер К. Нелинейные системы управления / К. Гельднер, С. Кубик. – М. : Мир, 1987. – 368 с.

10. Kudin V. Synthesis of suboptimal nonlinear regulator by immersion method / V. Kudin, J. Kolacny // J. Electrical engineering, Bratislava, Slovakia. – 1998, № 49. – P. 1–2, 11–15.

11. Справочник по теории автоматического управления / под ред. А. А. Красовского. – М. : Наука, 1987. – 712 с.

References

1. Sklad napol'nogo khraneniya na naklonnom dnishche [Floor storage warehouse on an inclined bottom]. Available at: <http://zeo.ua/katalog-oborudovaniya/hranenie-zerna/sklad-napolnogo-hraneniya-zeo-fs> Date of access 21.03.2018.

2. Instruksiya po ekspluatatsii preobrazovatelya chastoty SMVector [SMVector frequency converter operating instructiion]: Available at: http://www.lenze.org.ua/pdf/manual_smvector_eng.pdf Date of access 21.03.2018.

3. Dmitrieva, V. V., Pevzner, L. D. (2004). Avtomaticheskaya stabilizatsiya pogonnoy nagruzki lentochnogo konveyera [Automatic stabilization of the loading of a belt conveyor]. Moscow: Preprint, 25.

4. Borovikova, A. P., Tkachenko, A. E, Marenich, K. N. (2017). Razrabotka i issledovanie sistemy avtomaticheskogo upravleniya zagruzkoj magistralnoy konveyernoy linii [Development and investigation of the automatic control system of loading of the main conveyor line]. Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh ob"yektov i protsessov. Poisk molodykh: sbornik nauchnykh trudov KHVII nauchno-tekhnicheskoy konferentsii aspirantov i studentov, g. Donetsk, 24–25 maya 2017 g. Donetsk : DonNTU, 409.

5. Pechenik, M. V., Bur'yan, S. O., , Naumchuk, L. M. (2015). DoslIdzhennya vtrat energiyi v elektromehanichnyy sisteml konveera pri plavnly zmlnl navantazhennya {Investigation of energy losses in the electromechanical system of the conveyor with smooth load change}. Elektromekhanichni i enerhozberihaiuchi systemy, 2, 67–73.

6. Kolesnikov, A. A. (2013). Novyie nelineynnye metody upravleniya poletom [New nonlinear methods of flight control]. Moscow: Fizmatlit, 196.

7. Letov, A. M. (1969). Dinamika poleta i upravlenie [Flight dynamics and control]. Moscow: Nauka, 359.

8. Petrakov, Yu. V. (2003). Avtomatichne upravlnnnya protsesami obrobki materlallv rlyzanniam [Automatic control of the processing of materials by cutting]. Kyiv: UkrNIAT, 383.

9. Geldner, K., Kubik, S. (1987). Nelineynyie sistemyi upravleniya [Nonlinear control systems]. Moskow: Mir, 368.

10. Kudin, V., Kolacny, J. (1998). Synthesis of suboptimal non-linear regulator by immersion method. J. Electrical engineering, Bratislava, Slovakia, 49 (1–2), 11–15.

11. Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravleniya (1987). [Handbook on the theory of automatic control]. Edited by A. A. Krasovsky. Moscow: Nauka, 712.

НЕЛІНІЙНЕ КВАЗІОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ СТРІЧКОВИМ КОНВЕЄРОМ КОМПЛЕКСУ ПІДЛОГОВОГО ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА

**І. М. Голодний,
А. В. Торопов,
Л. В. Торопова**

***Анотація.** Нині дедалі більшого поширення набувають комплекси підлогового зберігання зерна. Одним із найбільш енергоємних вузлів є стрічковий конвеєр для рівномірного розподілу зерна по всій довжині комплексу. Найбільш енергоефективним режимом роботи такого конвеєра є режим стабілізації продуктивності. Водночас, практична реалізація систем управління для стабілізації кількості зерна є відносно складним завданням. Датчики для безпосереднього вимірювання об'єму сипучих вантажів потребують значних капіталовкладень і на сільськогосподарських комплексах застосовуються вкрай рідко. Іншою проблемою щодо використання даного обладнання є складність розробки самого алгоритму управління завантаженням конвеєра через наявність ланки чистого запізнювання в контурі регулювання.*

Метою дослідження є розробка близької до оптимальної системи управління продуктивністю стрічкового конвеєра, що забезпечує зниження енергоспоживання комплексу. При цьому для отримання алгоритму управління використаний метод Беллмана-Ляпунова з використанням концепції методу «занурення». Вихідну задачу синтезу для нелінійного об'єкта подано у вигляді сімейства лінійних задач аналітичного конструювання.

Далі здійснено «зшивання» отриманих рішень на основі закону оптимальної зміни коефіцієнтів зворотних зв'язків. У результаті, для контуру стабілізації продуктивності конвеєра отриманий регулятор, який описується нелінійною залежністю від змінних стану. Перевага використання синтезованого регулятора підтверджується результатами цифрового моделювання конвеєра транспортування зерна.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, метод Беллмана-Ляпунова, метод «занурення», стабілізація продуктивності, підлогове зберігання зерна

NON-LINEAR QUASI-OPTIMAL CONTROL OF THE BELT CONVEYOR OF THE GRAIN STORAGE COMPLEX

I. Golodnyi,
A. Toropov,
L. Toropova

Abstract. *At present, the floor grain storage complexes are increasingly distributed. One of the most power-consuming units is a conveyor belt for uniform grain distribution throughout the length of the complex. The most energy efficient mode of operation of such a conveyor is productivity stabilization mode. At the same time, the practical implementation of control systems to stabilize the amount of grain is a relatively difficult task. Sensors for the direct measurement of the volume of bulk cargo require significant investment and in agricultural complexes are used extremely rarely. Another problem hindering the use of this equipment is the design complexity of the control algorithm conveyor loading due to the presence of pure delay link in the control loop.*

The aim of the research is developing of the optimal control system for the productivity of the belt conveyor, which ensures a reduction in the energy consumption of the complex. In this case, the Bellman-Lyapunov method to obtain the control algorithm using the concept of the immersion method was used. The initial synthesis problem for a nonlinear object in the form of a family of linear tasks of analytical construction is represented.

At the final stage of the regulator construction, "sewing" of the solutions on the basis of the law of optimal change of the feedback coefficients was carried out.

As a result, for the conveyor productivity stabilizing loop, obtained regulator by a nonlinear law on the state variables is described.

The advantage of using a synthesized regulator by the results of a numerical simulation of a grain conveyor is confirmed.

Keywords: *belt conveyor, grain storage, Bellman-Lyapunov method, "immersion" method, stabilization of productivity*