

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СОРТИРОВОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Целью исследования является разработка способов формирования управляющего канала для сортировки круглого леса на основе асинхронного трехфазного двигателя с фазным ротором. В исследовании был применен метод имитационного моделирования, позволяющий убедиться в работоспособности разработанной реализации управляющего канала, и выполнить оценку ошибок функционирования системы управления. На основании полученных результатов можно сделать вывод о возможности использования предложенного способа формирования управляющего канала для управления дискретными сортировочными устройствами.

Ключевые слова: асинхронный двигатель с фазным ротором, имитационная модель, управляющий канал, сортировка круглого леса, автоматизация процесса сортировки, транспортер.

Введение. В настоящее время в лесопромышленном производстве большей частью по-прежнему применяется ручной труд, который может привести к травматизму, повышенной себестоимости продукции, низкой производительности труда, большим трудозатратам и т.д. Автоматизация системы сортировки круглого леса в лесной промышленности дает возможность избежать этих недостатков. Для увеличения эффективности и производительности промышленного производства на деревообрабатывающих предприятиях необходимо повысить технический уровень применяемого оборудования и внедрить средства автоматизации.

Для сортировки и сброски круглых лесоматериалов в основном применяют автоматизированные линии и различные управляющие устройства [1]. Сортировка круглого лесоматериала на деревообрабатывающих предприятиях осуществляется путем транспортировки сортимента к месту складирования и его сброса. Древесину сортируют по различным признакам:

- целевое назначение сортиментов;
- сортность транспортируемого сортимента;
- длина сортиментов;
- порода;
- способ хранения, зависящий от технологического процесса.

Для транспортирования круглого леса обычно применяются продольные транспортеры, в качестве тягового органа которых является цепь или канат.

Существуют локальные и централизованные сортировочные системы. Локальные системы имеют ограниченное применение, а точность управляющих сигналов на сброс сортимента обуславливается точностью путевых датчиков длины и других параметров. Если полученные данные соответствуют необходимым параметрам, то происходит сброс круглого леса.

Датчики устанавливаются на продольном или поперечном транспортере, и измерение проводится с помощью флажков, расстояние между которыми зависит от сортимента. При прохождении круглого леса через флажки происходит измерение параметров, и при совпадении их с необходимыми заданными условиями выдается команда на сбрасывание этих бревен.

Централизованные синхронно следящие сортирующие системы производят сортировку лесоматериалов по любым признакам. Принцип работы этих систем основан на масштабном слежении за движущимися сортиментом. Синхронно следящие системы различают по виду носителя информации. Основными записями информации являются: запись на магнитной ленте, запись информации на базе средств вычислительной техники (различные регистры сдвига и счетчика числа импульсов) [2].

Автоматизированные линии полностью устраняют ручной труд оператора, что ускоряет процесс измерения и сортировки. Надёжные измерительные устройства являются практической реализа-

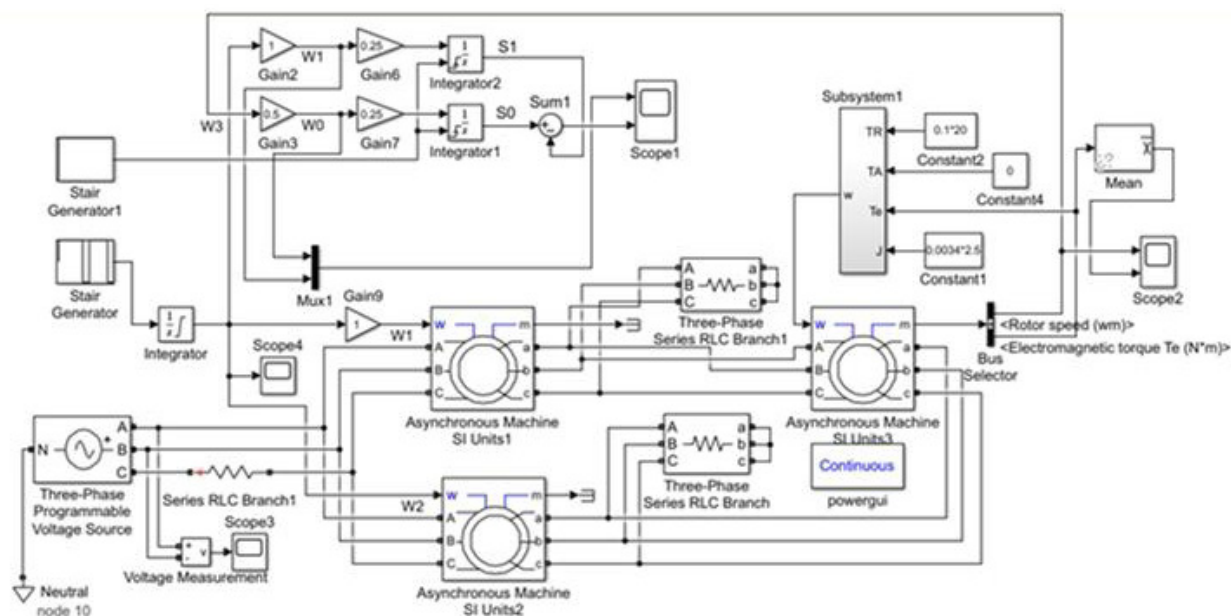


Рис. 1. Имитационная модель управляющего канала

цией этих систем и выполняются бесконтактными, автоматическими, а управление которыми необходимо осуществлять с помощью контроллера или промышленного компьютера.

Программное управление расширяет возможности измерительных устройств, повышает точность измерений и позволяет разрабатывать АСУТП на предприятиях лесопромышленного комплекса.

Кроме того, благодаря применению программного обеспечения, появляется возможность автоматизации процесса учёта круглого лесоматериала на деревоперерабатывающем предприятии, обеспечивается формирование баз данных, в которые заносят все необходимые параметры транспортируемых через пункт учёта бревен [3].

Необходимо учитывать, что автоматизация сортировки круглого леса не получила широкого распространения на лесоперерабатывающих предприятиях, на которых до сих пор применяются устаревшие сортировочные транспортеры. Это значительно усложняет внедрение автоматизированной системы управления технологическим процессом и приводит к существенному повышению капитальных затрат на её реализацию.

Поэтому возникает необходимость создания новых подходов и способов сортировки круглого леса в лесной промышленности с применением процесса автоматизации, так как точность сортировки брёвен влияет на эффективность работы лесопильного производства в целом.

В последние годы постепенно снижается применение простых одно- и двухплоскостных измерительных систем с качеством сортировки от 75 % до 85 %. Происходит внедрение более современных 3D систем, позволяющих измерять и рассчитывать основные геометрические параметры бревна с высокой достоверностью и достичь качества сортировки 92 %...95 %.

Сортировку круглого леса в лесопромышленном производстве осуществляют с помощью продольных и поперечных транспортеров. Линии сортировки бревен в зависимости от назначения и дополнительных функций могут строиться в различных конфигурациях [4].

Систему управления линий сортировки бревен можно функционально разделить на две части. Первая — обеспечивает в автоматическом режиме поштучную выдачу бревен, управляет включением/выключением транспортеров, управляет работой гидросистемы, обеспечивает правильную последовательность запуска и работу исполнительных механизмов. Управление осуществляется при помощи кнопок на пульте оператора.

Вторая часть системы управления осуществляет прием заказа от оператора о породе и сорте бревна, измерение геометрических размеров бревна, выбор кармана, отслеживание перемещения бревна до лесонакопителя и выдачу сигнала на сброс [5, 6].

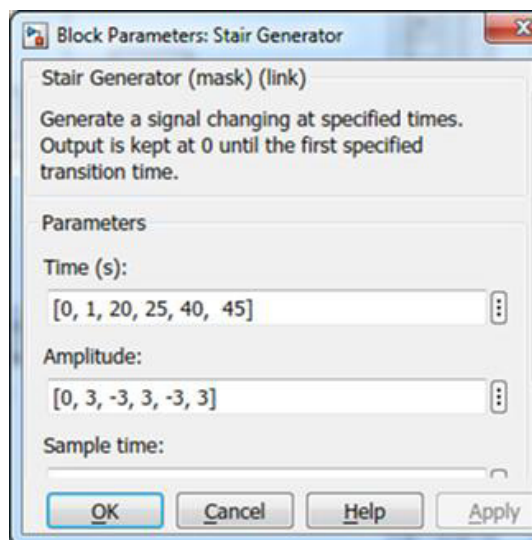
Постановка задачи. Различные управляющие устройства используются для автоматизации сортировки и сброски сортиментов. Эти устройства должны отвечать целому ряду требований, важнейшими из которых являются точность, обеспечение длительной работы на открытом воздухе и невысокая стоимость.

На лесопромышленном предприятии основным видом работ является сортировка сортимента — круглого леса. Однако требования, предъявляемые к сортировке круглого леса различны. Наиболее дробная сортировка выполняется на складах, где сортименты подбираются в зависимости от вида последующей обработки, а также по сортам, породам и размерам.

На лесозаготовительных предприятиях сортировочные устройства управления сбрасывателями круглого леса на продольных транспортерах могут быть выполнены в виде непрерывных или дискретных систем.

Установлено, что при работе сортировочного транспортера круглого леса на туеры (ведущий и ведомый) действуют возмущения, приводящие к мгновенным изменениям скорости в области туеров, и доказано, что минимальная ошибка слежения за перемещением бревна на транспортере может быть достигнута при одновременном контроле вращения ведущего и ведомого туеров.

Таким образом, возникает необходимость разработки и исследования способов реализации

Рис. 2. Диалоговое окно блока *StairGenerator*

управляющего (информационного) канала для сортировки круглого леса на лесозаготовительных предприятиях.

Имитационное моделирование. Для исключения ошибки управления предлагается сформировать управляющий канал с помощью асинхронного трёхфазного двигателя с фазным ротором, который по конфигурации совпадает с реализацией дифференциального сельсина. Для реализации сельсина-датчика необходимо обеспечить одно- или двух-фазное возбуждение асинхронного трёхфазного двигателя с фазным ротором.

Библиотека SimPowerSystems в настоящее время может считаться одной из лучших для моделирования электротехнических устройств и систем [7]. На рис. 1 представлена разработанная схема модели в Matlab 2021a управляющего канала, позволяющая убедиться в работоспособности разработанной реализации управляющего канала и произвести оценку ошибок показателей функционирования управляющего канала.

Для реализации управляющего канала выбраны три одинаковых асинхронных двигателя [8] мощностью 1 кВт с числом пар полюсов $p=3$. Двигатели *SIUnits1* и *SIUnits2* выполняют функцию датчиков положения валов ведущего и ведомого туеров и их валы механически соединяются с валами туеров. На входы W двигателей подаётся частота вращения, численное значение которой задаётся на выходе блока *Integrator* [9].

Максимальное значение частоты вращения туеров 4 соответствует средней скорости движения цепи транспортёра (1 м/с) и устанавливается огра-

ничением выходного напряжения блока *Integrator*, имеющий коэффициент усиления, равный единице.

Программа работы блока *Integrator*, а следовательно, и сортировочного транспортёра, задаётся и отображается в блоке *StairGenerator* (рис. 2).

В первой строке *Time (s)* отражаются моменты времени в секундах, начиная с которых на входе блока *Integrator* формируются указанные в строке *Amplitude* положительные или отрицательные напряжения. В нулевой момент времени на вход блока *Integrator* подаётся нулевое напряжение и сохраняется нулевое значение до момента времени 1 с.

В этот интервал времени *Integrator* не изменяет выходное напряжение $U_{\text{вых.и}}$, сохраняя его нулевым. В момент времени 1 с на вход блока *Integrator* поступает напряжение $U_{\text{вх.и}} = +3$ В. *Integrator* начинает увеличивать напряжение с интенсивностью $I = U_{\text{вх.и}} / \Delta t$. При единичном коэффициенте усиления интегратора и $\Delta t = 1$ с интенсивность будет равна $I = 3$ В/с. Выходное напряжение интегратора $U_{\text{вых.и}} = It$ через 1,33 с (текущее время 2,33 с) достигнет 4 В. Вступает в действие ограничение выходного напряжения и до момента времени 20 с напряжение сохраняется на уровне 4 В.

В момент времени 20 с на выходе блока *StairGenerator* генерируется напряжение минус 3 В, которое подаётся на вход интегратора. С этого момента времени выходное напряжение интегратора начнёт уменьшаться с интенсивностью -3 В/с и через 1,33 с (текущее время 21,33 с) уменьшится на 4 В, т.е. выходное напряжение достигает нулевого значения и ограничивается на нулевом уровне, исключая рост напряжения отрицательной полярности. На рис. 3 показана диаграмма работы интегратора, управляемого блоком *StairGenerator*, до 50 с.

Выходное напряжение интегратора поступает на входы W двигателей *Units1* и *Units2* [10, 11], формируя частоту вращения валов этих двигателей $W_1 = W_2 = 4$ рад/с. На валу двигателя *Units3* формируется частота вращения $W_3 = W_1 + W_2 = 8$ рад/с и момент двигателя реактивного характера $T_e = 2$ Нм, задаваемый блоками *Subsystem1* и *Constant2* (рис. 4).

Таким образом, решена проблема замены сельсинов на трёхфазные асинхронные двигатели с фазным ротором. Передача вращения туеров и суммирование их скоростей осуществлены электрическим способом без механических приспособлений. Двигатель *Units3*, вал которого составляет основу управляющего канала, располагается в одном помещении с сортировочным устройством. Для окончательной рекомендации о целесообразности использования рассматриваемого способа реализации необходимо исследовать точность процесса передачи информации по данному методу. Для этой



Рис. 3. Диаграмма выходного напряжения интегратора

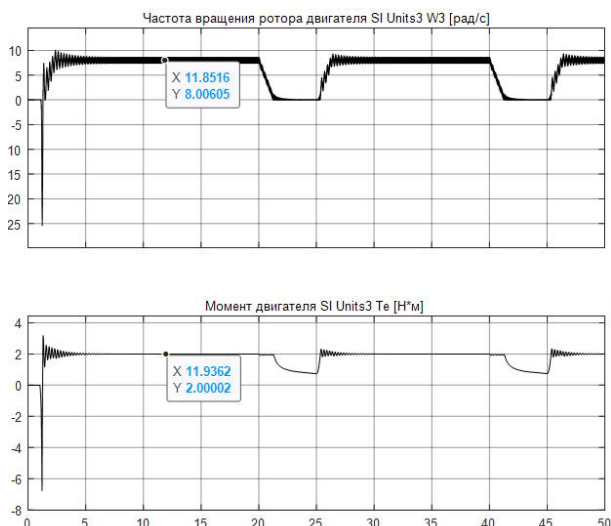


Рис. 4. Диаграммы частоты вращения и момента двигателя SIUnits3

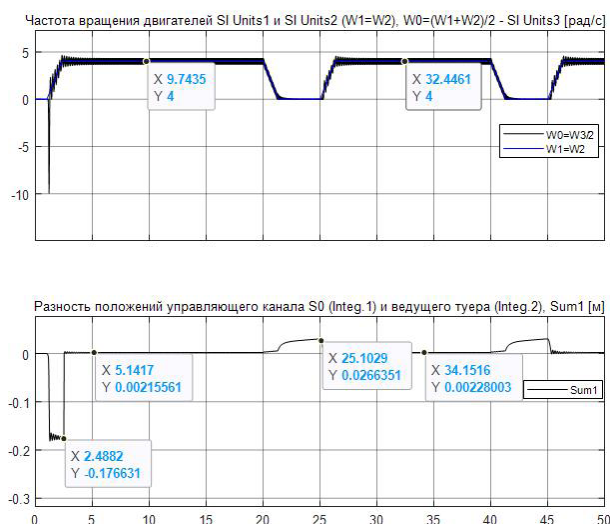


Рис. 5. Диаграммы скоростей W_1 , W_2 , W_0 и ошибки Sum1

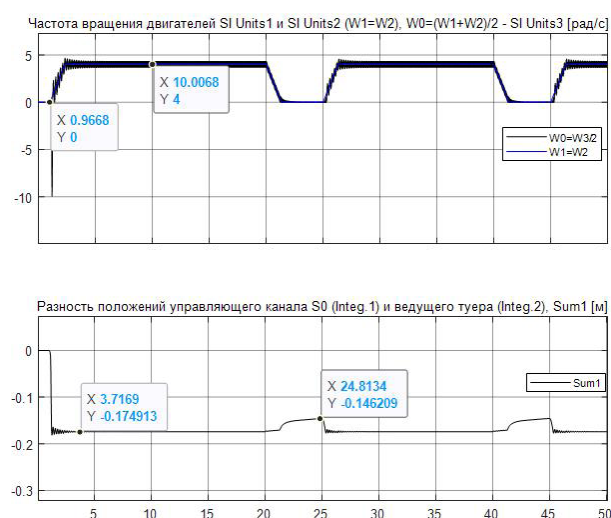


Рис. 6. Ошибка управляющего канала Sum1 при обнулении в $t = 0,8$ с

цели выполним имитационное моделирование работы управляющего канала по схеме, приведённой на рис. 1.

Отметим, что на туеры возмущения не поступают и частоты вращения строго одинаковые: $W_1 = W_2$. Определим с помощью блоков *Gain6* и *Integrator2* траекторию идеального движения определённой точки транспортера S1 и выполним сравнение (блок *Sum1*) с полученной реальной траекторией движения S0 управляющего канала (блоки *Gain6* и *Integrator2*), реализованного на трёх асинхронных двигателях.

В момент подачи напряжения на схему управляющего канала ($t=0$) асинхронный двигатель SIUnits3 занял исходную нулевую позицию. В это время 1-й и 2-й двигатели колебаний не совершили, так как их валы жёстко механически связаны с валами туеров. За время колебаний 3-го двигателя управляющий канал S0 зарегистрировал перемещение минус 0,176631 м, а канал S1 остался в нулевом положении до момента времени 1 с. В текущее время 1 с запускается транспортёр, начинают вращения туеры. Управляющий канал регистрирует вращение туеров и суммирует их частоты вращения.

Диаграммы, полученные в процессе имитационного моделирования, представлены на рис. 5. На верхней диаграмме видно, что среднее значение частоты вращения $W_0 = W_1 = W_2$. В текущее время 2,33 с пуск заканчивается. Ошибка Sum1 уменьшилась и установилась на значении около 0,00215561 м. В момент времени 2,5 с блок *StairGenerator1* генерирует сигнал длительностью 0,1 с, который передним нарастающим фронтом обнуляет интеграторы (*Integrator1* и *Integrator2*).

С физической точки зрения, на цепь транспортера в момент времени 2,5 с условно поставлена метка, и исследователь имеет возможность наблюдать за точностью работы управляющего канала по значению разности Sum1.

В момент времени 2,5 с разность Sum1 положений каналов S1 и S0 устанавливается практически на ноль 0,00215561 м. Её появление сигнализирует о некачественной работе управляющего канала. Если бы на интервале времени 2,5...20 с суммирование частот вращения велось с погрешностью, то $Sum1 \neq 0$. Ошибка Sum1 появляется (0,0266351 м или 26,6 мм), когда транспортёр останавливается. Это свидетельствует о наличии динамической ошибки отработки траекторий торможения и разгона двигателем Units3. Если обнуление выполнить в момент неподвижного состояния транспортера, то в рабочем состоянии управляющий канал будет работать с ошибкой $Sum1 \neq 0$ (-0,174913 м), как показано на диаграммах (рис. 6).

Выводы. Мощность и момент управляющего канала существенно увеличены, при этом реализация управления непрерывными сортировочными устройствами требует согласования по частоте вращения вала управляющего канала с валом сортировочного устройства. При рассмотренной реализации управляющего канала требуются дополнительные механические или электромеханические средства. Рассмотренный способ реализации управляющего канала можно использовать для управления дискретными сортировочными устройствами.

Библиографический список

1. Рогозов Ю. И., Самойлов А. Н. Определение направлений разработки автоматизированных систем измерения объёмов

ема круглого лесоматериала // Известия ТРТУ. 2007. № 1 (73). С. 166–170.

2. Петровский В. С. Автоматизация лесопромышленных предприятий. Москва: Академия, 2005. 304 с.

3. Поляков С. И., Бородин М. Г. Автоматизация сортировки круглого леса // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 5-4 (16-4). С. 324–328.

4. Поляков С. И., Илюхин Е. Р. АСУ процессом сортировки и компьютеризация учета круглых лесоматериалов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6, № 5 (41). С. 104–108.

5. Петровский В. С. Автоматизация технологических процессов и производств в деревообрабатывающей отрасли. Воронеж: Воронежская государственная лесотехническая акад., 2010. 432 с.

6. Поляков С. И. Автоматика и автоматизация производственных процессов. Воронеж: Изд-во ВГЛА, 2008. 372 с.

7. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. Москва: ДМК Пресс; Санкт-Петербург: Питер, 2008. 288 с.

8. Терёхин В. Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1). Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2010. 292 с.

9. Тарасов А. С. Анализ механической части электропривода средствами Matlab // Информационные технологии моделирования и управления. 2007. № 9 (43). С. 1120–1125.

10. Kozyaryk A. E., Le van T., Vasilev B. Y. Improving the torque direct control method of the asynchronous motor in the converter using the active rectifier // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1753. 012025. P. 1–8. DOI: 10.1088/1742-6596/1753/1/012025.

11. Kojooyan-Jafari H., Monjo L., Corcoles F. [et al.]. Parameter Estimation of Wound-Rotor Induction Motors From Transient Measurements // IEEE Transactions on Energy Conversion. 2014. Vol. 10, № 2. P. 300–308. DOI: 10.1109/TEC.2014.2300236.

КЛАДИЕВ Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики

Национального исследовательского Томского политехнического университета (ТПУ), г. Томск.

SPIN-код: 4641-5263

AuthorID (РИНЦ): 343404

ORCID: 0000-0001-9432-0176

AuthorID (SCOPUS): 10239370000

ResearcherID: O-4773-2016

Адрес для переписки: kladiev@tpu.ru

УМУРЗАКОВА Анара Даукеновна, кандидат технических наук, старший преподаватель отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики ТПУ, г. Томск.

SPIN-код: 8079-5187

AuthorID (РИНЦ): 834837

AuthorID (SCOPUS): 56485976200

Адрес для переписки: granat_72@mail.ru

САРБАСОВА Нурбану Даукеновна, старший преподаватель Торайгыров университета, г. Павлодар, Республика Казахстан.

Адрес для переписки: nurbanu_66@mail.ru

ХАЦЕВСКИЙ Константин Владимирович, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Электрическая техника» Омского государственного технического университета, г. Омск.

SPIN-код: 7219-6033

AuthorID (РИНЦ): 465857

ORCID: 0000-0001-9504-1312

AuthorID (SCOPUS): 56503931800

ResearcherID: A-4002-2016

Адрес для переписки: xkv-post@rambler.ru

Для цитирования

Кладиев С. Н., Умурзакова А. Д., Сарбасова Н. Д., Хацевский К. В. Имитационное моделирование следящего электропривода сортировочного конвейера // Омский научный вестник. 2022. № 2 (182). С. 72–76. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-182-72-76.

Статья поступила в редакцию 07.02.2022 г.

© С. Н. Кладиев, А. Д. Умурзакова, Н. Д. Сарбасова, К. В. Хацевский