

Климаш В.С.<sup>1</sup>, Петухов А.В.<sup>2</sup><sup>1</sup> Комсомольский-на-Амуре государственный университет<sup>2</sup> ООО «Амурская лесопромышленная компания», г. Амурск, Хабаровский край

## ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИЙ КОМПЛЕКС С УЛУЧШЕННОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ

Авторами статьи указаны недостатки штатной схемы электропитания электропривода – потеря энергии на тормозных резисторах в процессе динамического торможения, срабатывание электронных защит преобразователей частоты вследствие переходных процессов в питающей сети от внешних воздействий, остановка линии при срабатывании АВР и авариях в системе электроснабжения. Срабатывание АВР на главной понизительной подстанции приводит к неуправляемой остановке автоматизированной линии и нарушению сложного технологического процесса при производстве шпона. При переключении на резерв возникает неуправляемый процесс остановки электропривода, что ведёт к потере контроля над технологическим процессом производства шпона и повреждению механических узлов оборудования. Предложено техническое решение, позволяющее за счёт перевода электродвигателей электропривода в режим генераторного торможения на интервале времени срабатывания АВР замедлить разряд конденсатора общего звена постоянного напряжения и увеличить время ожидания включения резервного питания с постепенным снижением скорости для подготовки к корректной остановке в случае неуспешного срабатывания АВР или разгона привода с любой пониженной скорости при успешном срабатывании АВР. В среде MatLab разработаны математические модули электротехнического комплекса деревообрабатывающей линии и его системы управления. Приведена блочно-модульная имитационная модель электротехнического комплекса деревообрабатывающей линии с реальными параметрами. Численными экспериментами проведены исследования рассматриваемого способа для управления электроприводом электротехнического комплекса деревообрабатывающей линии во время кратковременного исчезновения напряжения в питающей сети при срабатывании АВР, авариях в системе электроснабжения. Рассмотрены осциллограммы тока и напряжения элементов устройства. Результаты исследования показали, что применение рассматриваемого способа управления электроприводом позволяет обеспечить его работу без остановки при срабатывании АВР, кратковременной потере напряжения в питающей сети, возникающей при авариях в системе электроснабжения. Рассмотрена возможность практического использования предлагаемого способа для управления электроприводом электротехнического комплекса автоматизированной линии.

**Ключевые слова:** частотно-регулируемый асинхронный электропривод, автономный инвертор напряжения, общий выпрямитель, общее звено постоянного напряжения, общий конденсатор, провал напряжения в сети, энергия генераторного торможения, способ управления электроприводом при срабатывании АВР, повышение надёжности оборудования, моделирование электротехнического комплекса в среде MatLab.

### ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим фактором любого современного промышленного предприятия является качество выпускаемой продукции, надёжность и энергоэффективность эксплуатируемого оборудования. В городе Амурск Хабаровского края на заводе по глубокой переработке древесины ООО «Амурская лесопромышленная компания» эксплуатируются сложные, высокотехнологичные автоматизированные линии по производству лущёного шпона. Производство шпона является непрерывным процессом, неконтролируемая остановка оборудования приводит к увеличению времени повторного запуска, браку продукции и к преждевременному выходу из строя оборудования из-за возникновения перегрузки в механизмах. Неуправляемая остановка оборудования возникает вследствие срабатывания защиты преобразователей частоты в результате возникновения переходных процессов в системе электроснабжения, срабатывании АВР на понизительных подстанциях и авариях в системе электроснабжения, что в конечном итоге сказывается на себестоимости выпускаемой продукции. Авторами предложен способ управления электроприводом электротехнического комплекса автоматизированной линии по производству шпона, позволяющий повысить надёжность оборудования, устранить влияние на его работу аварий, возникающих

в системе электроснабжения, а также рационально использовать энергию генераторного торможения. Очевидно, что практическое применение рассматриваемого способа управления электроприводом и способа электропитания автономных инверторов будет способствовать снижению себестоимости продукции, выпускаемой предприятием.

### ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРОВ НАПЯЖЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ЛИНИИ

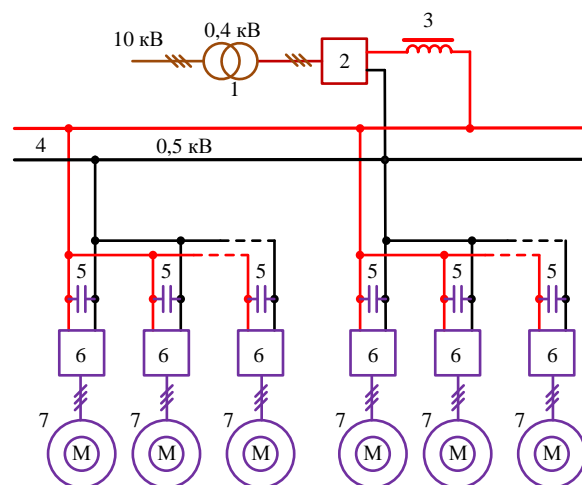
Для производства шпона на заводе по глубокой переработке древесины ООО «Амурская лесопромышленная компания» используются деревообрабатывающие линии HYPER-9W Японского производства, разработанные и изготовленные компаниями UROKKO и HANIMOTO. Деревообрабатывающая линия представляет собой сложный электротехнический комплекс, в состав которого входят частотно-регулируемые асинхронные электроприводы основных (конвейера распиловки, центровочно-загрузочного устройства, токарного узла, главного конвейера сортировки, конвейера сортировки №1 и 2) и вспомогательных (конвейера отходов, конвейеров выгрузки готовой продукции) механизмов. Преобразователи частоты (ПЧ) и асинхронные двигатели (АД) оснащены датчиками обратной связи, сигналы с которых поступают на микропроцессорные системы управления (СУИ) инверторами ПЧ и на программируемый контроллер системы авто-регулирования комплексом. Система авторегулирования

линией, воздействуя на СУИ преобразователей частоты, выполняет разгон и торможение электроприводов в соответствии с заданной программой обработки сырья для получения листов шпона определённого размера и толщины. Технология изготовления шпона такова, что в процессе работы линии все асинхронные двигатели периодически изменяют скорость, переходя из режима разгона в режим торможения с различной интенсивностью, при этом часть электродвигателей работает в режиме динамического торможения, в то время как остальные АД работают в двигательном режиме.

Штатная схема электротехнического комплекса, включающая систему электроснабжения и систему электропривода, приведена на **рис. 1**. В ней для каждого из 56 АД применен индивидуальный ПЧ. Каждый содержит встроенный диодный выпрямитель и транзисторный автономный инвертор напряжения с входным конденсатором *C* и системой управления с ШИМ формированием синусоидального тока АД. В состав ПЧ также входит блок динамического торможения. Он содержит внешний тормозной резистор и встроенный в ПЧ тормозной транзистор с системой импульсного регулирования торможением. Все преобразователи частоты подключены к трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, оснащенной автоматическим включением резервного питания (АВР).

К недостаткам штатной схемы следует отнести большие потери энергии на тормозных резисторах при динамическом торможении. Вместе с тем в процессе эксплуатации электротехнического комплекса были выявлены еще более существенные недостатки штатной схемы. Это срабатывание электронных защит преобразователей частоты при отклонениях и колебаниях напряжения в питающей сети и неуправляемая остановка автоматизированной линии с нарушением технологического процесса при производстве шпона [1].

Для устранения части указанных недостатков применена схема электропитания автономных инверторов [2], представленная на **рис. 1**. В этой схеме для каждого асинхронного двигателя 7 применен свой индивидуальный автономный инвертор напряжения 6. Входы всех АИН объединены, соединяя параллельно их входные конденсаторы 5 в общий конденсатор *C* с улучшенными демпфирующими свойствами на изменения напряжения в сети. Входной для всех инверторов конденсатор *C* и выходной 3 дроссель *L* диодного выпрямителя 2 образуют LC-фильтр общего звена постоянного напряжения электропривода. Вход диодного выпрямителя 2 подключен к силовому трансформатору 1 подстанции 10/0,4 кВ [2]. Объединение автономных инверторов электропривода общим звеном постоянного напряжения 4 позволило полезно использовать энергию генераторного торможения при непрерывном энергообмене между электродвигателями, работающими в двигательном режиме и режиме генераторного торможения без дополнительного преобразования потерь энергии, связанных с рекуперацией ее в сеть. Суммарная ёмкость общего конденсатора звена постоянного напряжения, образованная параллельным соединением конденсаторов 5, подключенных параллельно входам автономных инверторов 6, устраняет влияние переходных процессов, возникающих в питающей сети и звене постоянного напряжения на работу электропривода, исключая срабатывания электронных защит.



**Рис. 1. Схема электропитания автономных инверторов комплекса**

Производство шпона является сложным технологическим процессом. Нарушение в работе оборудования и некорректная его остановка приводит к длительным простоям, браку продукции, вызывает дополнительный износ механических узлов вследствие возникновения перегрузок в механизмах в процессе неуправляемой остановки оборудования.

#### ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

При переключении АВР или возникновении аварий на более высоких уровнях напряжения происходит остановка деревообрабатывающей линии из-за срабатывания защит минимального напряжения промежуточного звена между выпрямителем и инверторами [3,4]. Это приводит к полной аварийной остановке производства со сбоем программного обеспечения, браку выпускаемой продукции и, как следствие, снижению экономической эффективности предприятия.

Поэтому решение проблемы повышения надёжности электрооборудования в условиях как кратковременного, так и продолжительного перерыва в электропитании является весьма актуальным.

Предлагается техническое решение, предотвращающее сбой при повторном включении или аварийную остановку деревообрабатывающей линии при перерывах электроснабжения. Это специальное для данного комплекса способ управления инверторами [5]. На **рис. 2** представлена предлагаемая схема электротехнического комплекса.

Схема содержит следующие элементы: 1 – питающий основной фидер, 2 – питающий резервный фидер, 3 – устройство автоматического включения резерва, 4 – понижающий трансформатор, 5 – трехфазная сеть 0,4 кВ, 6 – диодный выпрямитель, 7 – входной LC-фильтр, 8 – общие шины постоянного напряжения, 9 – система управления деревообрабатывающей линией, 10 – детектор напряжения, 11 – устройство коррекции выходной частоты автономных инверторов, 12 – конвейер распиловки, 13 – центровочно-загрузочное устройство, 14 – токарный узел, 15 – конвейер сортировки, 16 – сглаживающие C-фильтры, 17 – автономные инверторы с индивидуальными системами управления, 18 – асинхронные двигатели.

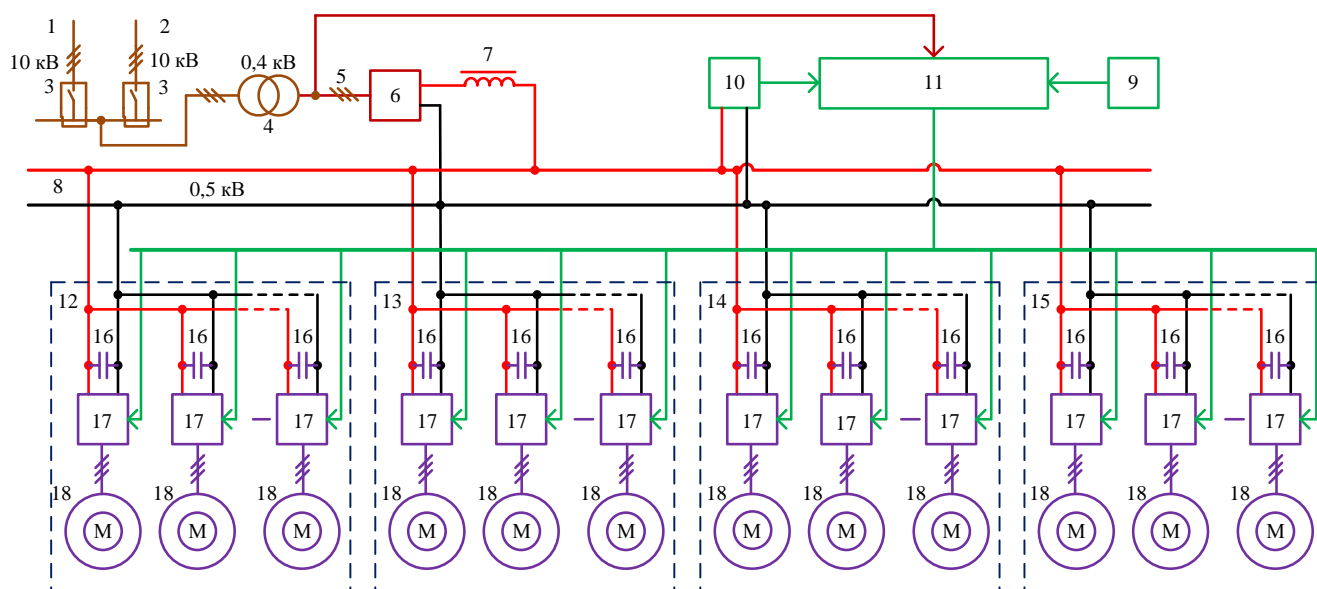


Рис. 2. Функциональная схема комплекса с предлагаемым блоком управления

Асинхронные двигатели 18 привода всех механизмов 12-15 деревоперерабатывающей линии подключены к выходам трехфазных автономных инверторов напряжения 17, к входу каждого из которых параллельно подключен С-фильтр 16 и общие шины постоянного напряжения 8, к которым также через сглаживающий дроссель 7 подключен выход диодного выпрямителя 6, вход которого подключен к трехфазной сети 5. Трехфазная сеть 5, содержащая понижающий трансформатор 4, подключена через устройство автоматического резерва 3 к питающему основному фидеру 1 или резервному фидеру 2. Управление интенсивностью разгона и торможения электропривода осуществляется от общей системы управления деревообрабатывающей линией 9, на выходе которой формируется задание интенсивностью разгона и торможения поступающее на один из входов устройства коррекции выходной частоты автономных инверторов 11.

Устройство функционирует следующим образом. Диодный выпрямитель, получающий электропитание через силовой трансформатор и устройство автоматического включения резерва от питающего основного или резервного фидера, преобразует трехфазную систему линейных напряжений (с действующим значением 380 В) в выпрямленное напряжение, которое через сглаживающий дроссель выпрямителя поступает на общие шины постоянного напряжения 8. Выпрямленное напряжение подается на входы автономных инверторов 17. Автономные инверторы напряжения 17 управляют пуском, торможением, регулированием скорости асинхронных электродвигателей 18 приводов механизмов 12-15 в соответствии с заданием интенсивности разгона и торможения от общей системы управления деревообрабатывающей линией 9. Устройство коррекции выходной частоты автономных инверторов имеет три входа и один выход. Один из входов подключен к выходу системы управления деревообрабатывающей линией 9, определяющей интенсивность разгона и торможения электродвигателей электропривода, второй – к выходу детектора напряжения 10, предназначенного для контроля напряжения на общих шинах постоянного напря-

жения, третий вход используется для регистрации момента отклонения напряжения в трёхфазной питающей сети. Выход устройства контроля напряжения и управления частотой подключен к входам систем управления автономными инверторами.

Устройство коррекции выходной частоты автономных инверторов при регистрации отсутствия напряжения в одной или всех фазах трёхфазной сети переводит электродвигатели, подключенные к выходам автономных инверторов, в режим генераторного торможения. Перевод электродвигателей в режим генераторного торможения замедляет разряд конденсатора общего звена постоянного напряжения и увеличивает время ожидания включения резервного питания с постепенным снижением скорости для подготовки к корректной остановке в случае неуспешного срабатывания АВР или разгона привода с любой пониженной скорости при успешном срабатывании АВР. Для увеличения времени ожидания включения резервного питания с целью замедления разряда конденсатора звена постоянного напряжения предусматривается отключение части автономных инверторов привода вспомогательных механизмов и конвейеров деревообрабатывающей линии. Для увеличения времени ожидания включения резервного питания предусматривается возможность подключения параллельно конденсаторам С фильтров суперконденсаторов [6-10].

Применение рассматриваемого способа позволяет обеспечить работу оборудования без его остановки при кратковременном отсутствии напряжения в одной или всех фазах на входе общего выпрямителя и управлять процессом его плавной остановки. Плавная остановка линии снижает динамические нагрузки на механизмы, предотвращая выход их из строя. Отличительная особенность рассматриваемого способа заключается в том, что устройство управления выходной частотой автономных инверторов не является самостоятельным физическим устройством и реализуется программным способом за счёт изменения алгоритма программы управления находящейся в памяти программируемого логического контроллера системы управления 9.

Цель проводимого исследования – выяснить возможность практического применения рассматриваемого способа управления электроприводом деревообрабатывающей линии и наметить перспективы работы в данном направлении. При этом необходимо ориентироваться на параметры действующего оборудования, в данном случае параметры электропривода автоматизированной линии по производству шпона HYPER-9W, эксплуатируемой в ООО «Амурская лесопромышленная компания».

Для достижения поставленной цели потребовалось решить ряд задач в среде MatLab [11]:

- разработать математический модуль устройства управления автономными инверторами;
- разработать математическую модель механической нагрузки с параметрами, близкими к параметрам автоматизированной линии;
- разработать имитационную модель электропитания автоматизированной линии;
- численными экспериментами исследовать возможность поддержания напряжения в звене постоянного напряжения на интервале времени срабатывания АВР и возникновении кратковременных аварий в сети электроснабжения.

#### ИССЛЕДОВАНИЯ НА МОДЕЛИ

Исследования способа управления электроприводом деревообрабатывающей линии во время автоматического включения резерва производились на разработанной блочно-модульной модели в среде MatLab [11].

На рис. 3 и 4 представлены осциллограммы, полученные в ходе имитационного моделирования. На рис. 3 представлены осциллограммы, полученные на интервале времени 0,6–1,2 с, на рис. 4 – на интервале 1,2–1,8 с. При постановке численных экспериментов на имитационной модели моделировался процесс срабатывания АВР с полным снятием напряжения на входе трёхфазного выпрямителя в момент времени 0,62 с (рис. 3, а), а в момент времени 1,12 с напряжение полностью восстанавливалось по завершении переключения АВР. На интервале времени срабатывания АВР в течение 500 мс оценивалась степень изменения напряжения в общем звене постоянного напряжения с использованием рассматриваемого способа (рис. 3, б). Использование способа управления позволяет поддерживать в звене постоянного напряжения напряжение на уровне 320 В при полном отсутствии напряжения на входе трёхфазного выпрямителя в течение 500 мс.

При переводе электродвигателей в режим генераторного торможения скорость линии снижалась на 30%. Оценка снижения скорости деревообрабатывающей линии производилась по скорости электродвигателя одного из механизмов, которая снижалась с номинальной, равной 1420 об/мин, до 980 об/мин (рис. 3, з). После восстановления напряжения на входе трёхфазного выпрямителя производился плавный разгон электродвигателя с 980 до 1420 об/мин (осциллограмма на рис. 4, з).

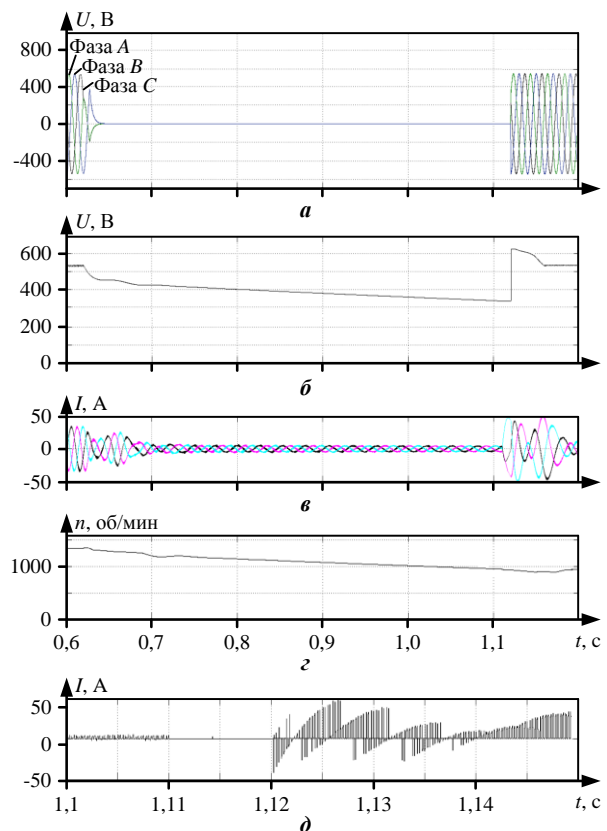


Рис. 3. Осциллограммы, полученные в ходе имитационного моделирования на интервале времени 0,6-1,2 с:  
а – напряжение на входе трёхфазного выпрямителя;  
б – напряжение в звене постоянного напряжения;  
в – фазные токи, потребляемые электродвигателем;  
з – скорость вращения электродвигателя; д – входной ток инвертора напряжения в момент восстановления электроснабжения

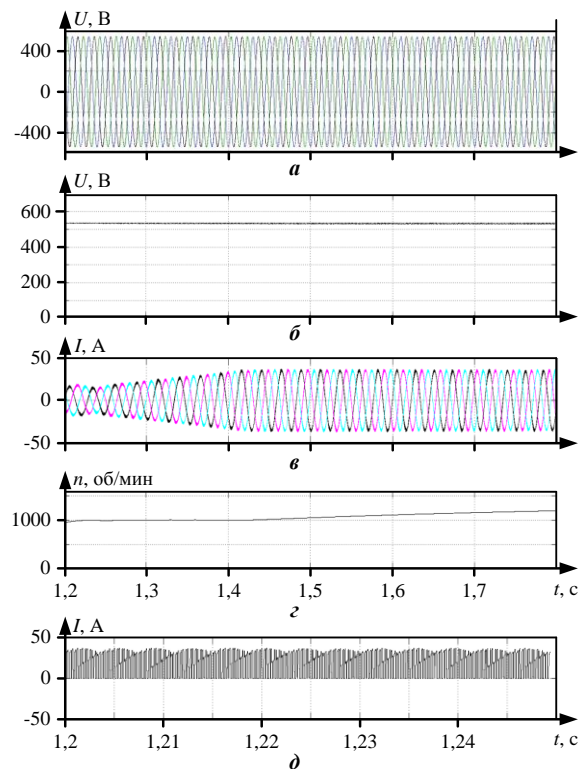


Рис. 4. Осциллограммы, полученные в ходе имитационного моделирования на интервале времени 1,2-1,8 с (окна а – д аналогичны рис. 3)

На имитационной модели производилась оценка амплитуды фазного тока электродвигателя, подключенного к выходу автономного инвертора напряжения (рис. 3, в и 4, в). На интервале времени 1,12-1,18 с одновременно с восстановлением электроснабжения осуществлялся перевод электродвигателя в генераторный режим за счёт снятия напряжения с обмоток электродвигателя в соответствии с алгоритмом управления, заложенным в системе управления. С момента времени 1,18 с (см. рис. 3, в) до 1,8 с (см. рис. 4, в) производился плавный разгон электродвигателя. В ходе исследования установлено, что амплитуда фазного тока в обмотках электродвигателя не превышает максимально допустимого значения в момент генераторного торможения на интервале времени 0,6-1,12 с, во время процесса перехода из режима торможения в режим разгона на интервале 1,12-1,18 с и в процессе разгона двигателя до номинальной скорости на интервале 1,18-1,8 с. В процессе исследования установлено, что амплитуда тока на всём интер-

вале времени с момента срабатывания АВР до момента разгона электродвигателя до номинальной скорости не превышает предельно допустимого значения.

На рис. 5 представлена имитационная модель электротехнического комплекса деревообрабатывающей линии, состоящая из функциональных блоков, структура которых представлена на рис. 6. Блок Б1 имитирует работу системы АВР, Б2 – схема контроля трёхфазного напряжения, формирующая на своём выходе сигнал отсутствия напряжения в одной или всех фазах трёхфазной системы, Б3 – система управления инверторами напряжения, реализующая рассматриваемый способ управления при отсутствии напряжения в трёхфазной сети, ИНВ1-ИНВ4 – инверторы напряжения с индивидуальными системами управления. Элемент З.С. – общий задатчик интенсивности разгона и торможения электродвигателей электропривода. Трёхфазный выпрямитель,  $L$ -фильтр, конденсаторы  $C1$ - $C4$  образуют общее звено постоянного напряжения, к которому подключены инверторы напряжения.

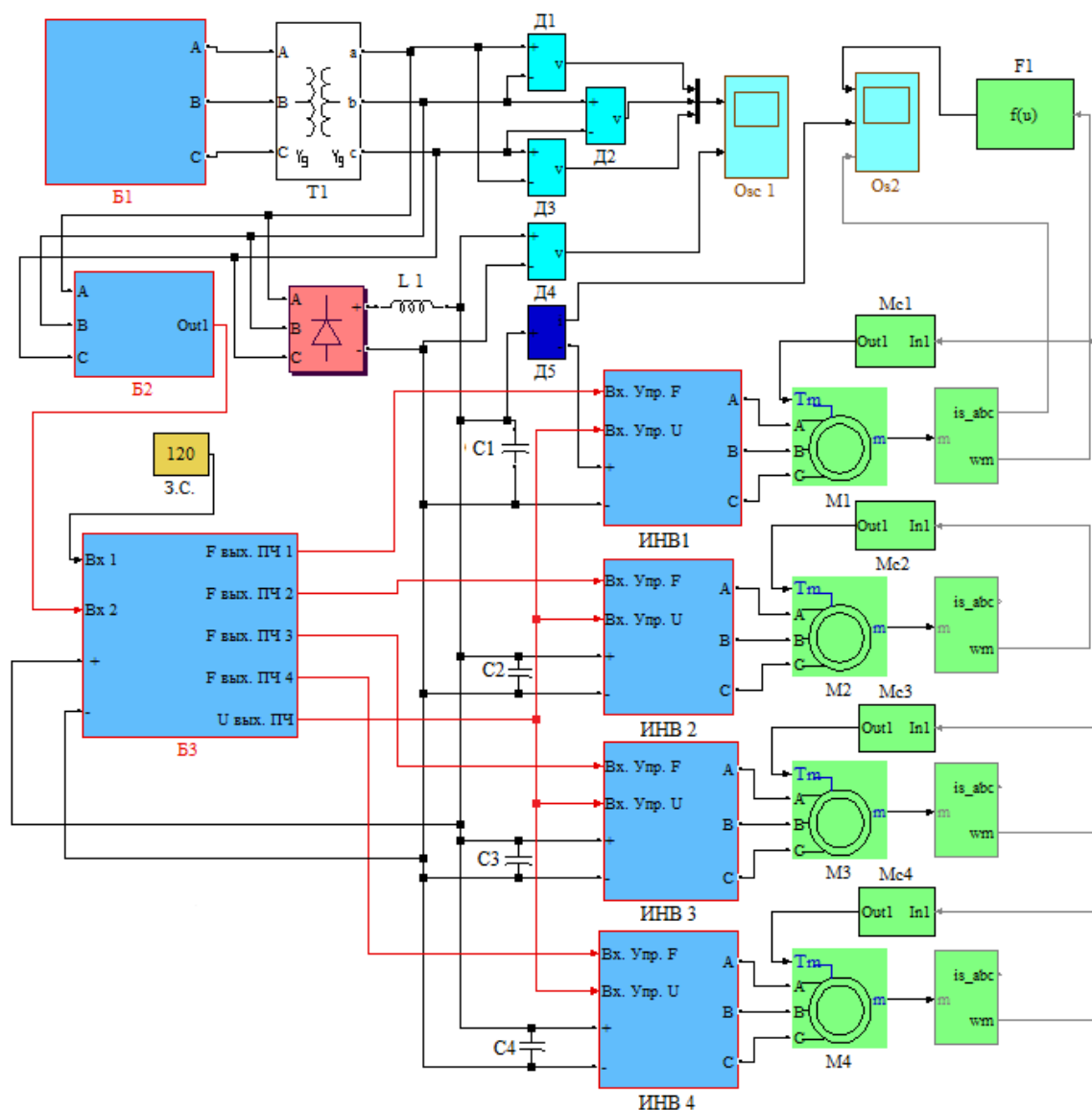


Рис. 5. Имитационная модель электротехнического комплекса деревообрабатывающей линии



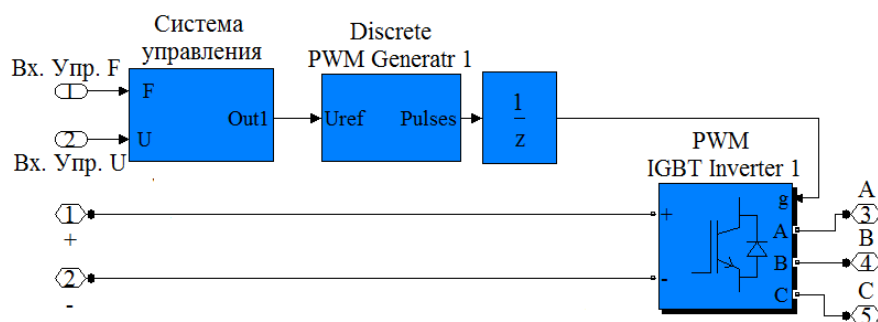
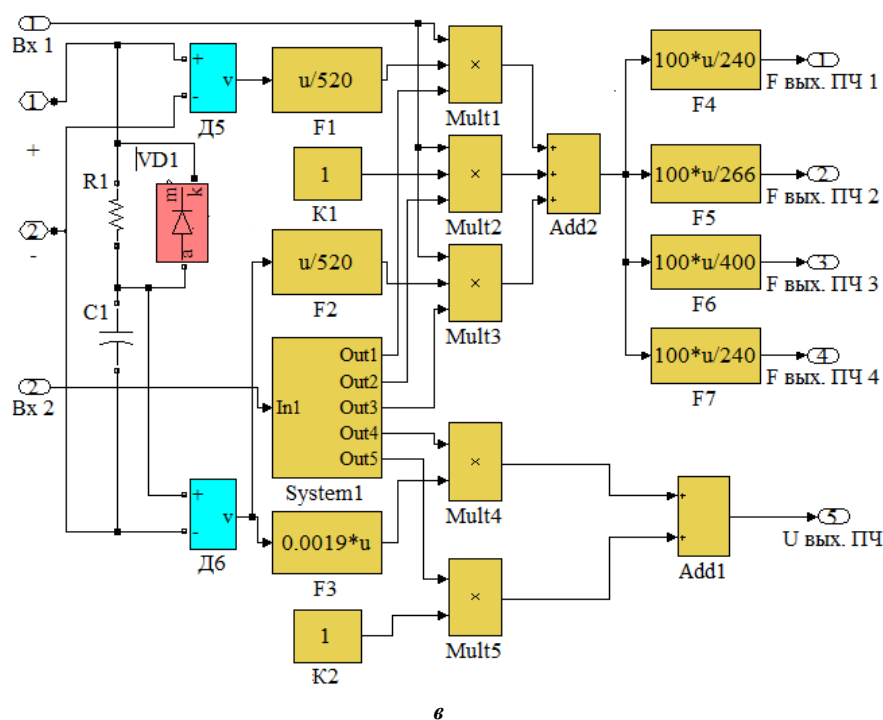
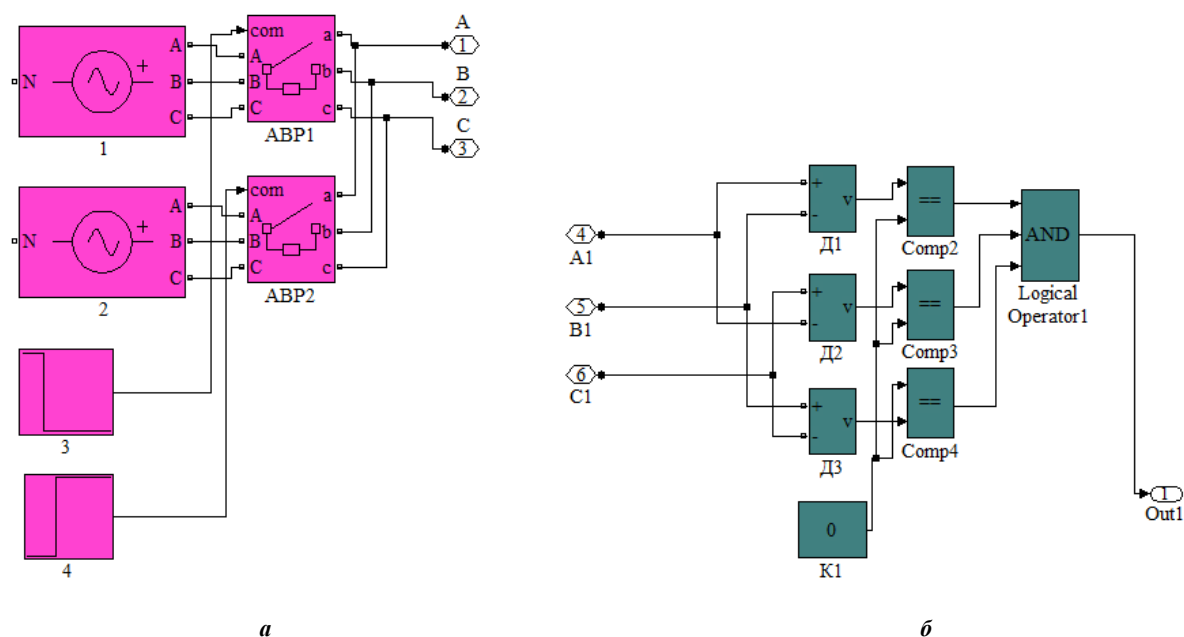


Рис. 6. Структура функциональных блоков имитационной модели электротехнического комплекса деревообрабатывающей линии: *а* – структура блока АВР; *б* – структура блока схемы контроля трёхфазного напряжения; *в* – структура блока системы управления; *г* – структура инвертора напряжения с индивидуальной системой управления

# ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Проведённые на имитационной модели эксперименты: оценка значения напряжения в общем звене постоянного напряжения, оценка изменения скорости деревообрабатывающей линии, исследование значения силы тока в обмотках электродвигателя и силы тока на входе автономного инвертора подтверждают возможность практического применения рассматриваемого способа для управления электроприводом электротехнического комплекса деревообрабатывающей линии во время кратковременного исчезновения напряжения в питающей сети при срабатывании АВР и возникновении аварий в сети электроснабжения. Практическое использование предлагаемого способа управления электроприводом позволит устранить остановку производства, уменьшить брак, снизить износ оборудования и повысить экономическую эффективность предприятия.

В настоящее время на предприятии ООО «Амурская лесопромышленная компания» проведена апробация схемы электропитания группы автономных инверторов напряжения от общего выпрямителя. Апробация предлагаемой схемы системы питания автономных инверторов подтвердила её преимущество перед традиционной схемой электропитания, в которой используются автономные инверторы напряжения с индивидуальными выпрямителями и блоками торможения, входящие в состав преобразователей частоты. Планируется дальнейшая исследовательская работа, направленная на изучение динамических нагрузок на механизмы и узлы деревообрабатывающей линии, возникающих при торможении и разгоне привода. В настоящее время проводится проектная работа по применению рассматриваемого способа управления электроприводом деревообрабатывающей линии в новом качестве и его практическая апробация.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования, направленные на совершенствование электротехнического комплекса деревообрабатывающей линии, позволили сделать следующие выводы:

1. Применение схемы электропитания группы автономных инверторов от общего выпрямителя позволяет полезно использовать энергию генераторного торможения, вырабатываемую электродвигателями, работающими в режиме генераторного торможения без дополнительного преобразования энергии с минимальными её потерями. Суммарная ёмкость общего конденсатора звена постоянного напряжения, образованная параллельным соединением конденсаторов  $C$  фильтров, подключенных к входам автономных инверторов, устраняет влияние переходных процессов, возникающих в питающей сети и звене постоянного напряжения на работу электропривода, исключая срабатывание электронных защит.

2. На разработанной в MatLab имитационной модели электротехнического комплекса исследованы значения токов и напряжений в процессе генераторного торможения электродвигателей при применении способа управления выходной частотой автономных

инверторов напряжением звена постоянного напряжения. В результате исследований численными экспериментами установлено следующее:

- а) построение схемы электропитания автономных инверторов от общего выпрямителя обеспечивает устранение влияния переходных процессов, возникающих в питающей сети на работу оборудования;

- б) применение способа управления выходной частотой автономных инверторов напряжением звена постоянного напряжения позволяет обеспечить работу оборудования без его остановки при срабатывании АВР;

- в) применение способа управления выходной частоты автономных инверторов напряжением звена постоянного напряжения позволяет обеспечить работу оборудования без его остановки при кратковременных нарушениях в системе электроснабжения.

3. Предлагаемый способ управления позволяет корректно останавливать автоматизированную линию при отключении питающего напряжения и исключить возникновение дополнительных нагрузок, возникающих в механизмах при неуправляемой остановке оборудования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петухов А.В., Климаш В.С. Опыт эксплуатации комплекса электроприводов автоматизированных линий по производству шпона // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы 47-й научн.-технич. конф. студентов и аспирантов. Комсомольск-на-Амуре: КнАГУ, 2017. С. 858-860.
2. Бутров В.Г. Электромеханические переходные процессы в системах электроснабжения: учебное пособие. Тверь: Тверской гос. техн. ун-т, 2005. 114 с.
3. Гельман М.В., Дудкин М.М., Преображенский К.А. Преобразовательная техника: учебное пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. 425 с.
4. Klimash V.S., Petuhov A.V. Electric drive with common rectifier and individual inverters for asynchronous electric motors of woodworking line // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). 2019. Pp. 1-4. doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934051
5. Пат. 2740813 Российская Федерация, Н02Р 1/16, Н02Р 3/06. Способ управления электроприводом деревообрабатывающей линии во время автоматического включения резерва / Климаш В.С., Петухов А.В.; заявитель ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет». № 2020107224; заявл. 17.02.2020; опубл. 21.01.2021.
6. Применение аккумуляторов для бесперебойного питания частотно-регулируемого электропривода / А.Н. Ладыгин, Д.Д. Богаченко, Н.А. Ладыгин, В.В. Холин // Труды 8-й международной конференции по автоматизированному электроприводу. Саранск: Мордовский университет, 2014. № 2. С. 21-23.
7. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Костылёв А.В. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод с ёмкостным накопителем энергии // Электротехника. 2012. № 9(61). С. 30-35.
8. Коваль А.С., Кондратенко А.Г. Модель в среде Матлаб накопителя энергии на базе суперконденсатора и двухуровневого повышающе-понижающего преобразователя DC/DC // Вестник Белорусско-Российского университета. 2020. №2 (67). С.106-112. doi: 10.53078/20778481\_2020\_2\_106
9. Коваль А.С., Кондратенко А.Г. К вопросу расчёта суперконденсатора накопителя энергии на базе двухуровневого

повышающе-понижающего преобразователя DC/DC // Вестник Белорусско-Российского университета. 2020. №4(69). С. 89-96. doi: 10.53078/20778481\_2020\_4\_89

10. Smriti D. Comparison of DVR and D-STATCOM for voltage quality improvement // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2014. № 4 (10). Pp. 187-193.

11. Свидетельство о гос. регистрации прог. для ЭВМ № 2021611165. Программный комплекс математической модели электропривода деревообрабатывающей линии в среде MATLAB / Климах В.С., Петухов А.В.; заявитель ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»; заявл. 18.12.20 опубл. 22.01.21.

Поступила в редакцию 06 октября 2021 г.

## INFORMATION IN ENGLISH

### ELECTRICAL WOOD-WORKING COMPLEX WITH IMPROVED ENERGY EFFICIENCY AND PRODUCTIVE RATE

Vladimir S. Klimash

D.Sc. (Engineering), Professor, Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, Russia, klimash@yandex.ru

Alexander V. Petukhov

Postgraduate student, Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, Russia, petuhovaleasander@yandex.ru

The flaws are revealed, the disadvantages of the standard electric drive power supply scheme are indicated, in particular, the energy loss on the brake resistors during dynamic braking, the triggering of electronic protection of frequency converters due to transients in the supply network from external influences, the line stop when the automatic switching of the reserve and accidents in the power supply system. The automatic activation of the reserve at the main step-down substation leads to an uncontrolled stop of the automated line and disruption of a complex technological process in veneer production. When switching to the reserve, an uncontrolled process of stopping the electric drive occurs, which leads to control loss over the technological process of veneer production and damage to mechanical components of the equipment. A technical solution is proposed that makes it possible, by switching the electric motors of the electric drive to the generator braking mode at the time interval of the automatic activation of the reserve, to slow down the capacitor discharge in the common constant voltage link and increase the waiting time for the backup power with a gradual decrease in speed to prepare for a correct stop in case of unsuccessful activation of the automatic activation of the reserve or drive acceleration from any reduced speed with successful automatic reserve activation. "Matlab" environment was used to develop mathematical modules of the electrical complex of the woodworking line and its control systems. A block – modular simulation model of an electrical complex of a woodworking line with real parameters is presented. Numerical experiments have been carried out to study the method under consideration for controlling the electric drive of the electrical complex of the woodworking line during the short-term disappearance of voltage in the supply network when the automatic activation of the reserve is triggered or in the case of accidents in the power supply system. The oscillograms of the current and voltage of the device elements are considered. The results of the study showed that the application of the considered method of controlling the electric drive makes it possible to ensure its operation without stopping when the automatic activation of the reserve is triggered or for a short-term loss of voltage in the supply network arising from accidents in the power supply system. The possibility of practical use of the proposed method for controlling the electric drive of an electrical complex of an automated line is considered.

**Keywords:** frequency-controlled asynchronous electric drive, autonomous voltage inverter, common rectifier, common DC voltage link, common capacitor, voltage drop in the network, generator braking energy, a method for controlling the electric drive when automatic reserve activation is triggered, improving

the reliability of equipment, modeling of an electrical complex in MatLab.

#### REFERENCES

1. Petukhov A.V., Klimash V.S. Operating experience of the complex of electric drives of automated lines for veneer production. *Nauchno-tekhnicheskoye tvorchestvo aspirantov i studentov: materialy 47-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov* [Scientific and technical creativity of postgraduates and students: materials of the 47th Scientific and Technical Conference of students and postgraduates]. Komsomolsk-on-Amur, KNAU Publ., 2017. pp. 858-860. (In Russian)
2. Bugrov V.G. *Elektromekhanicheskiye perekhodnyye protsessy v sistemakh elektrosnabzheniya* [Electromechanical transients in power supply systems]. Tver, Tver State Technical University Publ., 2005. 114 p. (In Russian)
3. Gelman M.V., Dudkin M.M., Preobrazhenskiy K.A. *Preobrazovatel'naya tekhnika* [Transformative technology]. Chelyabinsk, SUSU Publishing Center, 2009. 425 p. (In Russian)
4. Klimash V.S., Petuhov A.V. Electric Drive with Common Rectifier and Individual Inverters for Asynchronous Electric Motors of Woodworking Line. International Conference on Industrial Engineering and Modern IEEE, 2019. doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934051
5. Klimash V.S., Petukhov A.V. *Sposob upravleniya elektroprivodom derevoobrabatyvayushchey linii vo vremya avtomaticheskogo vklucheniya rezerva* [Method of controlling the electric drive of a woodworking line during automatic activation of the reserve]. Patent RF, no. 2740813, 2021.
6. Ladygin A.N., Bogachenko D.D., Ladygin N.A., Kholin V.V. The use of batteries for uninterruptible power supply of a frequency-controlled electric drive. *Trudy 7-y mezhdunarodnoy konferentsii po avtomatizirovannomu elektroprirodu* [Proceedings of the 7th International Conference on Automated Electric Drive] Saransk, Mordovian University, 2014, vol. 2, pp. 21-23. (In Russian)
7. Braslavskiy I.Y., Ishmatov Z. Sh., Kostylev A.V. Asynchronous frequency-controlled electric drive with capacitive energy storage. *Elektrotehnika* [Electrical engineering], 2012, no. 9(61), pp. 30-35. (In Russian)
8. Koval A.S., Kondratenko A.G. A model in the Matlab environment of an energy storage device based on a super capacitor and a two-level step-up/step-down DC/DC converter. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta* [Bulletin of the Belarusian-Russian University], 2020, no. 2(67), pp. 106-112. doi: 10.53078/20778481\_2020\_2\_106. (In Russian)



9. Koval A.S., Kondratenko A.G. On the issue of calculating the energy storage supercapacitor based on a two-level step-up/step-down DC/DC converter. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta* [Bulletin of the Belarusian-Russian University], 2020, no. 4(143), pp. 89-96. doi: 10.53078/20778481\_2020\_4\_89. (In Russian)
10. Smriti D. Comparison of DVR and D-STATCOM for voltage quality improvement. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2014, no. 4(10), pp. 187-193.
11. Klimash V.S., Petukhov A.V. *Programmnyy kompleks matematicheskoy modeli elektroprivoda derevoobrabatyvayushchey linii v srede MATLAB* [The software package of the mathematical model of the electric drive of the woodworking line in the MATLAB environment]. Computer program RF, no. 2021611165, 2021.

---

Климаш В.С., Петухов А.В. Электротехнический деревообрабатывающий комплекс с улучшенной энергоэффективностью и производительностью // Электротехнические системы и комплексы. 2021. № 4(53). С. 19-27. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-4\(53\)-19-27](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-4(53)-19-27)

---

Klimash V.S., Petukhov A.V. Electrical Wood-Working Complex with Improved Energy Efficiency and Productive Rate. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2021, no. 4(53), pp. 19-27. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-4\(53\)-19-27](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-4(53)-19-27)

---