

Диагностика оборудования лесозаготовительных машин с использованием сетевого протокола на базе Industrial Ethernet

М.Ю. Васенёв

Поволжский государственный технологический университет, ул. Панфилова 17, Йошкар-Ола, Республика Марий Эл
 AspIVS16.20@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3405-8342>
 Статья поступила 14.06.2018, принята 18.09.2018

В статье рассматриваются актуальные проблемы, возможности и перспективы определения технического состояния оборудования лесозаготовительных машин (на примере краноманипуляторной установки). Подчеркиваются важность, эффективность и целесообразность своевременной диагностики при выявлении неисправностей узлов и агрегатов и внезапных сбоев при функционировании техники. Предлагается использование для этих целей протоколов на базе Industrial Ethernet. Дается краткая оценка состояния рынка промышленных стандартов автоматизации. Обосновывается выбор стандарта EtherCAT как наиболее оптимального для применения в лесной технике, приводятся его достоинства и положительные стороны. Рассматриваются и анализируются практические примеры, касающиеся диагностики оборудования и использования для этого возможностей данного сетевого стандарта, а именно определение обрыва в сети и влияние электромагнитного излучения на кабель. В заключение делаются выводы о простоте и удобстве обслуживания лесозаготовительной техники при работе в экстремальных условиях, а также при отказах, сбоях и случайных поломках оборудования, узлов и агрегатов с помощью функционала, предлагаемого протоколом EtherCAT. Это актуально как для оператора и ремонтной бригады, так и для самой техники, обслуживаемой ими.

Ключевые слова: диагностика оборудования; лесозаготовительные машины; простота обслуживания техники; сбои и случайные поломки; EtherCAT.

Diagnostic of equipment for tree harvesting machines with the use of network protocol based on Industrial Ethernet

M.Yu. Vasenev

Volga State University of Technology; 17, Panfilova St., Yoshkar-Ola, Russia
 AspIVS16.20@gmail.com
 Received 14.06.2018, accepted 16.09.2018

This article considers the actual problems, resources, and perspectives of the diagnostic of tree harvesting machines' equipment (on the example of crane-manipulator). Significance, effectiveness and reasonability of well-timed troubleshooting are emphasized when revealing joints' and units' failures and sudden errors in the operation of equipment. It is proposed to use for these purposes protocols based on Industrial Ethernet. A brief assessment of the state of the industrial automation standards market is given. The choice of the EtherCAT standard as the most optimal for use in forestry equipment is justified, its advantages and positive aspects are presented. Practical examples are considered and analyzed concerning the equipment diagnostics and the use of the capabilities of this network standard, namely, the determination of a network break and the influence of electromagnetic radiation on the cable. Conclusions are made about the simplicity and ease of maintenance of logging equipment when working in extreme conditions, as well as failures, malfunctions and accidental breakdowns of equipment, components and assemblies using the functionality offered by the EtherCAT protocol. This is relevant both for the operator and the repair crew, and for the equipment serviced by them.

Keywords: equipment diagnostics; tree harvesting machines; ease of equipment service; failures and random breakdowns; EtherCAT.

Введение

Эксплуатационная надежность большинства компонентов краноманипуляторной установки (КМУ) лесозаготовительных машин (ЛЗМ) на современном этапе развития данной техники довольно высока, и при наличии должного уровня диагностики, своевременном выявлении неисправностей можно избежать большинства

внезапных отказов в рабочем процессе. Это делает актуальным обращение к данной теме.

Важным фактором при выявлении причин большинства сбоев и неполадок является определение места их появления. Бывает, что причина сразу же ясна и понятна оператору лесозаготовительной машины или специалисту из группы технического обслуживания, но иногда приходится проводить большое количество

проверок, диагностических действий различного характера, которые отнимают много времени. Все это повышает время простоя машины и приводит к *лишним тратам и издержкам*. Поэтому гораздо более действенным способом видится организация эффективной системы диагностики компонентов КМУ.

Бесспорно, существуют узлы КМУ, диагностику которых удобнее осуществлять без использования автоматики, например, рекомендуется с периодичностью, указанной в инструкции, измерять зазор между телескопическими секциями стрелы и пластинами скольжения, а также следить за толщиной опорных пластин скольжения цилиндров. Необходимо своевременно менять пластины, чтобы люфт между секциями не превышал допустимой величины, и перемещения КМУ были более точными. К сожалению, на практике часто пластины скольжения не меняют, пока «металл не начнет скрести по металлу» [1; 2].

Если говорить о структуре современного манипулятора ЛЗМ, то он включает в себя большое количество всевозможных узлов и компонентов, а также крупных блоков. Рассмотреть способы диагностики для каждого из них в рамках одной статьи практически невозможно, поэтому ограничимся вопросами обнаружения причин неисправностей и сбоев, возникающих в электронном и сетевом оборудовании манипуляторной установки лесной машины.

Итак, целью данной работы является рассмотрение способов диагностики электронных компонентов крана-манипулятора современных ЛЗМ благодаря возможностям, предоставляемым сетевым протоколом, на основе которого функционирует ее система управления.

Теоретическая часть. Для передачи данных и при управлении процессами в ЛЗМ традиционно используются различные полевые шины (в большинстве случаев CAN/CANopen), а также некоторые проприетарные протоколы [3–6]. Но сегодня в промышленности, энергетике, нефтегазовой отрасли, на транспорте и производственных предприятиях все шире применяется технология Ethernet. Сети на базе этой технологии привлекают низкой стоимостью и простотой реализации [7].

По данным HMS Industrial Networks, в 2017 г. промышленный Ethernet (*Industrial Ethernet*) обогнал традиционные промышленные сети (*Fieldbus*) в новых устройствах автоматизации (рис. 1).

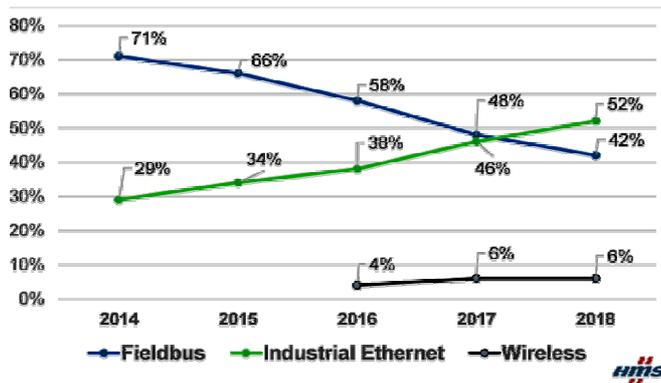


Рис. 1. Динамика доли рынка промышленных стандартов автоматизации [8]

С темпом роста в 22% сегодня Industrial Ethernet уже занимает 52% мирового рынка. Например, EtherNet/IP теперь является наиболее популярным протоколом на базе Ethernet— 15%. За данным стандартом следуют стандарты PROFINET с долей в 12% и EtherCAT с 7% соответственно. Беспроводные технологии также набирают силу с долей рынка 6% [8].

Если говорить о внедрении протоколов на основе Industrial Ethernet в современные ЛЗМ, то по ряду факторов наиболее интересным и перспективным видится использование стандарта EtherCAT. Перечислим основные из них (более подробно см. в [9; 10]).

- *Малое время цикла.* Типовое время цикла (минимальное) для EtherCAT составляет от 50 до 250 мкс (в случае с использованием технологии XFC—12,5 мкс), тогда как для классических полевых шин оно находится в диапазоне от 1–2 до 15 мс (например, у PROFINET—2 мс).

- *Гибкость сети.* Сеть на основе EtherCAT практически не имеет ограничений по топологии, допускается резервирование. Поддерживается функция «горячего подключения», что немаловажно, так как при этом уменьшается время простоя техники при замене компонента.

- *Экономическая эффективность использования протокола.* Допускается использование стандартных Ethernet-кабелей и разъемов, не требуется использование специальных коммутаторов, занимающих лишнее место в кабине машины (как было бы в случае с Ethernet/IP, PROFINET). Также, что немаловажно, технология EtherCAT признана по всему миру, имеются широкий ассортимент продукции и соответствующая поддержка продуктов представителями.

Кроме того, хотелось бы отметить тот факт, что для членов технологической группы EtherCAT (ETG) доступны спецификации, а также коммерческие и условно бесплатные пакеты с открытым исходным кодом для ведущего и ведомого устройств.

Практическая часть. Итак, проиллюстрируем, какие возможности в плане диагностики манипуляторной установки ЛЗМ приносит использование протокола на базе Industrial Ethernet, в нашем случае EtherCAT [11; 12]. Для этого рассмотрим несколько случаев, которые могут возникнуть при лесозаготовках (уделим внимание характерным проблемам, возникающим на аппаратном уровне, так как сбой на программном уровне не зависит от места применения того или иного оборудования).

1. Определение обрыва в сети/отказа компонента. Нередко в процессе работы операторы ударяют стрелой КМУ по окружающим предметам и даже по кабине, могут волочить грузы по земле стрелой, что способно привести к вибрационным, механическим и иным воздействиям на кабели, соединяющие между собой компоненты, а также на них самих. Может произойти обрыв кабеля, его повреждение или выход устройства из строя. Также в электронной системе КМУ

причиной отказов компонентов иногда могут стать значительные скачки напряжения в бортовой сети машины в зимний период [1; 13]. Далее рассмотрим, как решается такая ситуация.

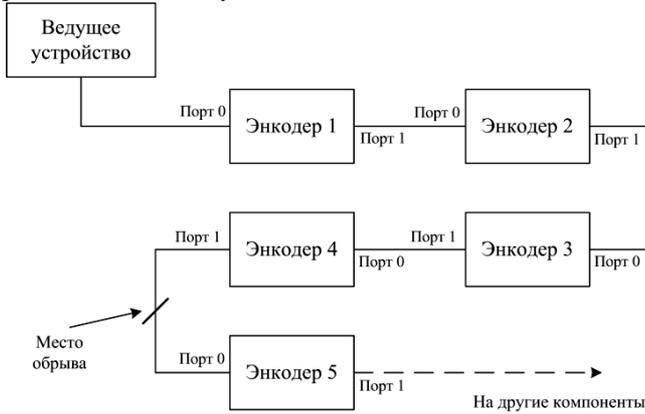


Рис. 2. Определение точки обрыва

Условные обозначения:

- энкодеры 1–3—сообщают информацию о положении, угле колонны манипулятора; стрелы манипулятора; рукояти манипулятора;
- энкодер 4— показывает, насколько выдвинут удлинитель;
- энкодер 5— сообщает информацию о положении, угле захвата манипулятора.

Для отслеживания изменений в сетевой топологии, обнаружения обрывов, вызванных повреждениями аппаратного обеспечения или отсоединением кабелей от ведомых устройств, используется информация из поля WKC (Working Counter) широковещательной дейтаграммы EtherCAT (рис.3).

Заголовок дейтаграммы (10 байт)	Данные (0-1486 байт)	WKC (2 байта)
---------------------------------	----------------------	---------------

Рис. 3. Структура дейтаграммы EtherCAT

Дейтаграмма обрабатывается всеми slave-устройствами в сети, причем ожидается, что значение поля WKC пропорционально количеству таких устройств. Если какая-то часть сети «отсоединилась» или не функционирует, то не все ведомые устройства смогут «пропустить» через себя фрейм, таким образом, значение поля WKC не будет соответствовать их численному составу. Ведущее устройство, получив такую телеграмму, начнет опрос регистров состояния связи каждого из slave-устройств, точно определив место разрыва или вышедшее из строя устройство. Очевидно (рис. 2 и 3), что в данном случае значение поля WKC до обрыва — 5 и после обрыва — 4 соответственно.

2. Влияние электромагнитного излучения. Нередко лесозаготовителям приходится проводить расчистку линий электропередач (ЛЭП). Как известно, данная процедура позволяет снизить риск повреждений и выхода из строя воздушных линий (ВЛ), а также спо-

собствует проведению профилактических и ремонтных работ как самих ЛЭП, так и других технических объектов. Кроме этого, за счет реализации заготовленных лесоматериалов появляется экономическая выгода от их реализации [14; 15].

Ни для кого не является секретом, что поблизости от ЛЭП возникает стойкое электромагнитное излучение (ЭМИ), которое с легкостью может вывести из строя технику, особенно электронную, не оснащенную экранами или иными защитными средствами.

Несомненно, что большинство современных промышленных кабелей и устройств приспособлено к таким условиям, но всегда возможна ситуация, когда оплетка экранированного кабеля будет повреждена или получила вмятину. Это в дальнейшем способно привести к негативному воздействию ЭМИ на сигнал, что, в свою очередь, может создать различные чрезвычайные ситуации.

Протокол EtherCAT позволяет без труда выявить данную проблему, ремонтной бригаде останется только заменить кабель или провести временное экранирование поврежденного участка специальным материалом [16; 17].

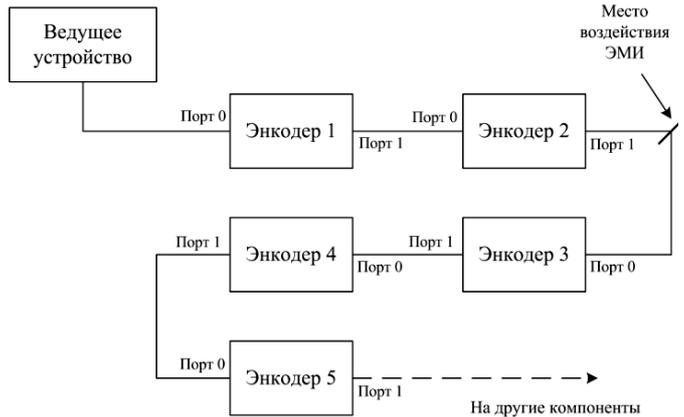


Рис. 4. Выявление места воздействия ЭМИ на кабель

Прокомментируем рис. 4. В случае сбоя искаженный кадр маркируется как поврежденный, а данные, которые в нем содержатся, игнорируются, и счетчик CRCError инкрементируется. Впоследствии все устройства, получающие данный кадр, будут также игнорировать информацию в нем, вдобавок инкрементируя счетчик ForwardedCRCError (см. таблицу 1).

Таблица 1

Выявление воздействия ЭМИ на кабель

Ведомое устройство	CRCError (Порт 0)	CRCError (Порт 1)	ForwardedCRCError (Порт 0+1)
1	=	=	+ 0x0100
2	=	=	+ 0x0100
3	+ 0x0001	=	+ 0x0100
4	=	=	+ 0x0101

5	=	=	+ 0x0101
---	---	---	----------

Заключение

Любая лесозаготовительная техника, какой бы надежной и безотказной она ни была, со временем все равно подвержена поломкам. Поэтому необходимо периодически проводить ее техническое обслуживание. Если даже состояние техники не требует проведения диагностики, это не избавляет от необходимости выполнения данного важного мероприятия.

И можно сказать без всякого сомнения, что внедрение протоколов на базе IndustrialEthernet, например, рассмотренного нами стандарта EtherCAT, в автоматизированные системы управления лесозаготовительной техникой даст возможность повысить эффективность и надежность ее работы, упростить диагностику при аварии, а также улучшить и облегчить условия труда обслуживающей данную технику ремонтной бригаде.

Кроме того, автоматизированная оценка технического состояния машин позволит исключить недоиспользование рабочего времени смены оператора. Вместо лишних трат времени на определение неисправностей в отсутствие обслуживающих технику рабочих оператор может самостоятельно решить проблему, не требующую полноценной замены узлов и т.п.

И, наконец, нельзя забывать, что, помимо внедрения способов и методов автоматизированной диагностики узлов и агрегатов лесозаготовительных машин, не следует упускать из внимания своевременное обучение операторов грамотной эксплуатации и соблюдению последовательности и объема технического обслуживания лесосечных машин [18–20].

Литература

1. Протасов С. Господа, читайте инструкцию! // Основные средства. 2011. № 5. С. 14-17.
2. Красовский С. Причины и следствия. «Сюрпризы» КМУ // Основные средства. 2011. № 12. С. 5-9.
3. CAN in Automation: Controller Area Network [Электронный ресурс]. URL: <https://www.can-cia.org>. (дата обращения: 25.04.2018).
4. Kiencke U., Nielsen L. Automotive Control Systems. Springer-Verlag, Berlin, 2000.
5. Bednarski M., Dabrowski D., Szlagowski J. Can-bus application system in close loop control systems for heavy machines // In Proc.: The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. June 2008. P. 47-51.
6. Forest Machines [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hitachicm.com/global/ourbusiness/products/forest-machines/> (дата обращения: 25.04.2018).
7. Орлов С. Ethernet: экспансия на производство // LAN: журн. сетевых решений. 2008. № 8. С. 26-29.
8. Carlsson T. Industrial Ethernet is now bigger than fieldbuses [Электронный ресурс]. URL: <https://www.anybus.com>. (дата обращения: 28.04.2018).
9. Сапожников А. От классической полевой шины (fieldbus) к EtherCAT // Современные технологии автоматизации. 2010. № 3. С. 15-16.

10. XFC: Ether CAT PLC with 12.5 μ s cycle time [Электронный ресурс]. URL: <https://www.beckhoff.com> (дата обращения: 28.04.2018).

11. EtherCAT Technology Group [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ethercat.org/> (дата обращения: 28.04.2018).

12. Figini A., Häfele F. Diagnostics with EtherCAT: monitoring of master/slaves // Industrial Ethernet Book Issue 82. № 41.

13. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов-манипуляторов. М., 2003.

14. Гомонай М.В., Кушляев В.Ф. Проблемы обеспечения безопасных условий эксплуатации ЛЭП на участках, проходящих через лесонасаждения // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2011. № 4. С. 23-26.

15. Лесной кодекс Российской Федерации от 4 дек. 2006 г. № 200-ФЗ [Электронный ресурс] (ред. от 29.12.2017). Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».

16. Денисенко В., Халявко А. Защита от помех датчиков и соединительных проводов систем промышленной автоматизации // Современные технологии автоматизации. 2001. № 1. С. 23-25.

17. Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах / пер. с англ. Б.Н. Бронина. М.: Мир, 1979.

18. Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс]: приказ Минпромторга Рос. Федерации № 248, Минсельхоза Рос. Федерации № 482 от 31 окт. 2008 г. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».

19. Селиверстов А. Профессионализм операторов лесных машин – важное условие эффективной лесозаготовки // Лес-ПромИнформ. 2013. № 7. С. 23-27.

20. Purfürst F.T. Erler J. The Human Influence on Productivity in Harvester Operations // International Journal of Forest Engineering, 2011.

References

1. Protasov S. Gentlemen, read the instruction! // Osnovnye sredstva. 2011. № 5. P. 14-17.
2. Krasovskij S. Causes and consequences. «Surprises» KMU // Osnovnye sredstva. 2011. № 12. P. 5-9.
3. CAN in Automation: Controller Area Network [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.can-cia.org>. (data obrashcheniya: 25.04.2018).
4. Kiencke U., Nielsen L. Automotive Control Systems. Springer-Verlag, Berlin, 2000.
5. Bednarski M., Dabrowski D., Szlagowski J. Can-bus application system in close loop control systems for heavy machines // In Proc.: The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. June 2008. P. 47-51.
6. Forest Machines [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.hitachicm.com/global/ourbusiness/products/forest-machines/> (data obrashcheniya: 25.04.2018).
7. Orlov S. Ethernet: expansion on production // LAN: zhurn. setevykh reshenij. 2008. № 8. P. 26-29.
8. Carlsson T. Industrial Ethernet is now bigger than fieldbuses [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.anybus.com>. (data obrashcheniya: 28.04.2018).
9. Sapozhnikov A. From classic fieldbus to EtherCAT // Sovremennye tekhnologii avtomatizacii. 2010. № 3. P. 15-16.
10. XFC: EtherCAT PLC with 12.5 μ s cycle time [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.beckhoff.com> (data obrashcheniya: 28.04.2018).

11. EtherCAT Technology Group [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.ethercat.org/> (data obrashcheniya: 28.04.2018).
12. Figini A., Häfele F. Diagnostics with EtherCAT: monitoring of master/slaves // Industrial Ethernet Book Issue 82. № 41.
13. Procedure for design and safe operation of cargo crane-manipulators. M., 2003.
14. Gomonaj M.V., Kushlyayev V.F. Problems of ensuring safe operating condition of power transmission line on areas passed through forest // Scientific and educational problems of civil protection. 2011. № 4. P. 23-26.
15. Forestry code of Russian Federation from 04.12.2006 N 200-FZ [Elektronnyj resurs] (red. ot 29.12.2017). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tant Plyus».
16. Denisenko V., Halyavko A. Protection against sensors' interference and cables of industrial automatization systems // Sovremennye tekhnologii avtomatizacii. 2001. № 1. P. 23-25.
17. Ott G. Noise reduction techniques in electronic systems / per. s angl. B.N. Bronina. M.: Mir, 1979.
18. About approval of development's strategy of Russian forest complex for the period up to 2020 [Elektronnyj resurs]: prikaz Minpromtorga Ros. Federacii № 248, Minsel'hoza Ros. Federacii № 482 ot 31 okt. 2008 g. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tant Plyus».
19. Seliverstov A. Professionalism of tree harvesting machines' operatorsan significant condition for effective logging // LesPromInform. 2013. № 7. P. 23-27.
20. Purfürst F.T. Erler J. The Human Influence on Productivity in Harvester Operations // International Journal of Forest Engineering, 2011.

УДК 674.812:02

DOI: 10.18324/2077-5415-2018-4-152-156

Пропитка древесины жидкостями под давлением

В.А. Шамаев^{1а}, О.А. Куницкая^{2б}, И.В. Григорьев^{2с}, И.Н. Медведев^{1д},
Д.А. Парин^{1е}, С.С. Бурмистрова^{1ф}

¹Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева 8, Воронеж, Россия

²Якутская государственная сельскохозяйственная академия, Сергеляхское шоссе 3, Якутск, Республика Саха (Якутия)

^аdrevstal@mail.ru, ^бola.ola07@mail.ru, ^сsilver73@inbox.ru, ^дmedved-vrn82@mail.ru,

^еdmitryparinov@mail.ru, ^фsve2091@yandex.ru

^а<https://orcid.org/0000-0002-1762-7956>, ^б<https://orcid.org/0000-0001-8542-9380>,

^с<https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>, ^д<https://orcid.org/0000-0002-8214-3333>,

^е<https://orcid.org/0002-7558-8836>, ^ф<https://orcid.org/0002-7558-7933>

Статья поступила 6.11.2018, принята 12.11.2018

В последние годы за рубежом активно развивается производство модифицированной древесины, получаемой методом автоклавной пропитки. Древесина таких марок, как Ассожа, Кеболу, Belmadur является водо- и влагостойкой, не меняет своих размеров в среде с переменной влажностью и температурой. Основным оборудованием для пропитки является автоклав. В данной статье рассмотрены различные способы автоклавной пропитки древесины под избыточным давлением. Приведена классификация древесных пород как материала для пропитки. Даны описание способов автоклавной пропитки и характеристики автоклавов. Общим недостатком автоклавной пропитки является то, что древесина перед пропиткой должна быть высушена до влажности 40 % при пропитке водными растворами и до 30 % — при пропитке маслянистыми жидкостями. После пропитки следует операция повторной сушки. Чтобы избежать двух сушек, разработана технология сквозной автоклавной пропитки сырых оцилиндрованных бревен диаметром 15–35 см, длиной 3 м — с торца, под давлением. Предложен принцип работы инновационной установки для пропитки методом с торца под давлением, позволяющий осуществить сквозную пропитку бревен длиной 3 м труднопропитываемых пород древесины. Установка, работающая по такому принципу, сейчас серийно не выпускается, но имеется опытная установка в ООО «Модификация» (Воронеж). Преимуществом данного устройства является то, что сквозная пропитка умеренно пропитываемой древесины по времени составляет 2–3 часа, а пропитка древесины ели и лиственницы, которые считаются непропитываемыми, имеет продолжительность 12–20 ч как водным, так и маслянистым раствором.

Ключевые слова: древесина; автоклав; давление; вакуум; импрегнация; антисептики; антипирены.