

телемеханики без существующей инфраструктуры. Базируясь на полученных результатах, можно разрабатывать другие устройства, использующие беспроводные технологии для коммуникации.

Ключевые слова: Iota, телемеханика, интернет вещей, дистанционное управление, беспроводная связь.

В настоящее время все чаще на слуху такое понятие как Интернет Вещей (Internet of Things) или сокращенно IoT. Это концепция, суть которой заключается в объединении предметов в единую сеть для взаимодействия между собой и внешним миром. Эта концепция активно развивается и внедряется как в быту, для автоматизации рутинной работы, такой как уборка, так и в промышленности.

Для взаимодействия вещей друг с другом традиционные интернет-сети, такие как Wi-Fi, GSM, Ethernet, оказались плохо пригодны из-за высокого потребления электроэнергии конечных модемов и небольшой емкости сети. Поэтому для IoT были разработаны свои стандарты сетей передачи данных, такие как BLE, ZigBee, NB-IoT, LoRa, LTE-M и ряд других. Среди всех стандартов, разработанных для IoT, можно выделить отдельную группу – Low-power Wide-area Network (энергоэффективные сети дальнего радиуса действия) или сокращенно LPWAN. Одним из представителей таких стандартов является LoRa.

Их основное отличие – это низкая скорость передачи, но при этом большая дальность и пробивная способность сигнала, в совокупности с длительным сроком автономной работы. Среди этих технологий хорошими характеристиками связи и возможностью самостоятельного разворачивания сети выделяется технология LoRa.

Преимущества сетей дальнего радиуса действия на базе технологии LoRa (по сравнению с наиболее распространенными сейчас 2G и 3G) это большая пробивная мощность сигнала, большее время автономной работы и отсутствие в необходимости услуг операторов связи. Эти отличия открывают широкий спектр применений как в комплексе с уже существующими сетями, так и вместо них.

В процессе написания работы были изучены материалы по существующим системам телемеханики, и принято решение использовать в качестве канального уровня технологию LoRa. Был собран прототип устройства на базе данной технологии для тестирования дальности в режиме точка-точка. При работе модулей на частоте 868МГц удалось получить дальность связи ~8км в прямой видимости. Основной проблемой при тестировании стало отсутствие открытых участков местности достаточной протяженности, поэтому отсутствовала возможность тестирования на более протяженных дистанциях.

При проверке связи в условии не прямой видимости, удалось получить уверенную связь от крыши до подвала 9 этажного жилого дома. При этом скорость передаче данных составляла 300-500 байт/с. Данная скорость является достаточной для опроса большинства устройств. Прототип в тестовом режиме успешно применен для дистанционного управления освещением. На основании проведенных исследований были получены результаты, удовлетворяющие требованиям современных систем телемеханики.

©БГТУ

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА РАЦИОНАЛЬНЫМ ОСВОЕНИЕМ ТРУДНОДОСТУПНОГО ЛЕСОСЕЧНОГО ФОНДА ЛЕСОПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ СОБСТВЕННОСТИ**

**А. А. ДУХОВНИК**

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Е. А. ЛЕОНОВ, КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ДОЦЕНТ**

Объектом исследования являются лесосечные работы, складирование древесного топлива, система машин «харвестер-форвардер». В данной работе на основании анализа производится деятельность предприятий Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, были предложены способ разработки лесосек, рекомендации по оптимальным срокам хранения топлива и обустройства площадок, произведена оценка эффективности применения машинных комплексов «харвестер-форвардер» различных форм собственности и рекомендации по совершенствованию производства.

Ключевые слова: система машин, совершенствование, эксплуатация, технология.

Для Республики Беларусь освоение труднодоступного лесосечного фонда, эффективноприменение существующего парка лесозаготовительных машин и рациональное использование древесных ресурсов являются одними из приоритетных задач лесного комплекса.

Особенностью отечественных лесозаготовок является практически повсеместное применение сортиментной технологии, которая подразумевает выполнение на лесосеке следующих операций: валка деревьев, очистка их от сучьев, раскряжевка хлыстов на сортименты, трелевка (подвозка) и штабелевка древесины. При этом годовой лесосечный фонд, отведенный в рубку, условно делится на лесосеки с хорошей доступностью и труднодоступные. Разработка лесосек с хорошей доступностью,

отличающихся удовлетворительной несущей способностью грунтов, как правило, осуществляется следующими вариантами систем машин: «харвестер – форвардер» или «бензопила – погрузочно-транспортная машина». Освоение труднодоступных лесосек, отличающихся слабой несущей способностью грунтов, как правило, осуществляется с применением системы машин: «бензопила – трелевочный трактор с канатно-чокерным оборудованием» [1, 2].

Анализ существующих технологических процессов и систем машин при выполнении лесосечных работ показал, что высокая механизация технологических операций с использованием машинных комплексов «харвестер – форвардер» характерна для лесосек с хорошей несущей способностью грунтов. В то же время разработка труднодоступного лесосечного фонда осуществляется главным образом с применением бензопил и трелевочных тракторов с канатно-чокерным оборудованием. Такой технологический процесс отличается значительным применением ручного труда, низкой производительностью и сопряжен с тяжелыми условиями труда и высокой вероятностью производственного травматизма [1, 2].

Для решения поставленных проблем автором предлагается новый способ разработки лесосек, при котором после выполнения всех необходимых подготовительных работ лесосеку разрабатывают в два этапа [3, 4].

На первом этапе (рис. 1) разрабатывается доступная к освоению часть лесосеки 1. В этом случае в процессе движения по технологическому коридору 5 харвестер 8 производит разработку полосы леса шириной равной двойному максимальному вылету стрелы гидроманипулятора, осуществляя валку деревьев 9 с последующей очисткой их от сучьев, раскряжевкой на сортименты 10 и укладкой их по обеим сторонам от технологического коридора 5. Образующиеся при этом лесосечные отходы 11 распределяются харвестером 8 по технологическому коридору 5 и прилегающим к нему участкам и способствуют повышению его несущей способности. На безопасном от харвестера 8 расстоянии форвардер 12 производит сбор и подвозку сортиментов 10 на верхний склад 2 с укладкой их в штабели 13. Погрузка и вывозка древесины потребителю производится лесовозными автопоездами 14, оснащенными гидроманипулятором [4].

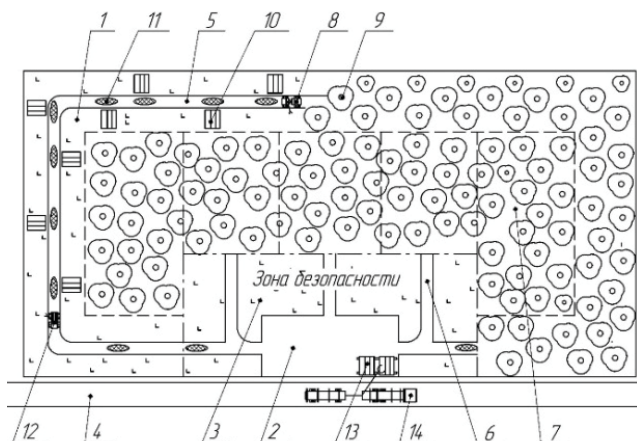


Рис. 1. Первый этап разработки лесосеки с использованием системы машин «харвестер – форвардер»

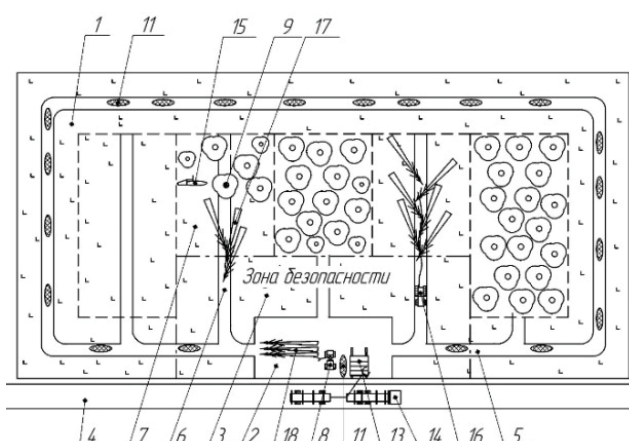


Рис. 2. Второй этап разработки лесосеки с использованием системы машин «бензопила – колесный трелевочный трактор с канатно-чокерным оборудованием – харвестер»

Второй этап (рис. 2) разработки лесосеки 1 производится на труднодоступных ее участках по узкопассажной технологии. Разбивка неосвоенной части лесосеки 1 производится на пасеки 7 шириной 25–30 м по центру которых прокладываются трелевочные волокна 6 перпендикулярно к подъездному лесовозному пути 4. Разработка пасек 7 начинается с ближней по отношению к верхнему складу 2 стороны. Вальщик производит валку деревьев 9 бензопилой 15 вершиной на трелевочный волок 6. Колесный трелевочный трактор 16 с канатно-чокерной оснасткой движется по технологическому коридору 5 до границы пасеки 7, примыкающей к нему с установкой на трелевочный волок 6 на безопасном расстоянии от работы вальщика с бензопилой 15, где производит разворот с установкой щита до упора в землю по направлению к поваленным деревьям 17 на трелевочный волок 6. Зачокерованные деревья 17 подтаскиваются к щиту трактора 16, после чего щит приподнимается гидросистемой и осуществляется трелевка поваленных деревьев 17 за вершины на верхний склад 2 с укладкой их в штабель 18. На верхнем складе 2 харвестером 8 производится очистка деревьев из штабеля 18 от сучьев с последующей раскряжевкой ствольной части на сортименты 10 с укладкой их в штабели 13,

древесина из которых вывозится потребителю по подъездному лесовозному пути 4 лесовозным автопоездом 14 с гидроманипулятором [4].

После выполнения основных лесосечных работ и вывозки с верхнего склада 2 древесины потребителю валы лесосечных отходов 11, образующиеся после обработки деревьев из штабеля 18 харвестером 8 на верхнем складе 2, перерабатываются передвижной рубильной машиной с гидроманипулятором на щепу с последующей ее доставкой на энергообъектавтощеповозом по подъездному лесовозному пути 4 или оставляются на верхнем складе 2 для перегнивания.

Разработка лесосек по предлагаемому способу позволит:

- снизить долю ручного труда на операциях по очистке деревьев от сучьев и раскряжке хлыстов на труднодоступных участках заготовки древесины;
- снизить травматизм при работе и обеспечить более высокую культуру производства;
- обеспечить повышение производительности работ на лесосеках на 19–23 %;
- повысить сохранность наземной растительности, улучшить биоразнообразие за счет меньшего воздействия на почвогрунты колесного движителя, а значит ускорить процесс лесовозобновления на участках, где производились лесозаготовительные работы [4].

В процессе организации лесосечных работ необходимо учитывать, что в настоящее время в отрасли имеется достаточно широкая гамма лесных машин, отличающихся страной производства, комплектацией, производительностью и соответственно стоимостью. Поэтому очень важно, в зависимости от конкретных природно-производственных условий, выбрать оптимальную систему машин, позволяющую реализовать технологический процесс при наименьших экономических затратах. Решение этой проблемы практически невозможно без математического моделирования [5].

Схема функционирования системы машин «харвестер – форвардер», осуществляющей заготовку сортиментов на лесосеке изображена размеченным графом (рис. 3).

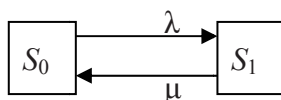


Рис. 3. Граф состояний системы «харвестер – форвардер»

Работа системы лесозаготовительных машин «харвестер – форвардер» характеризуется следующими параметрами: харвестер осуществляет заготовку сортиментов на лесосеке с интенсивностью  $\lambda$  сортиментов в мин; форвардер осуществляет сбор и транспортировку сортиментов на погрузочный пункт с интенсивностью  $\mu$  сортиментов в мин. При этом форвардер может находиться в следующих состояниях:  $S_0$  – простаивать из-за временного отсутствия заготавливаемых харвестером сортиментов;  $S_1$  – осуществлять сбор и транспортировку сортиментов на погрузочный пункт. Из свободного состояния  $S_0$  в рабочее  $S_1$  форвардер переходит с интенсивностью  $\lambda$  (интенсивность работы харвестера), обратно переход осуществляется с интенсивностью  $\mu$  [5].

Поясним это на примере выбора харвестера. Пусть на лесосеке сбор и транспортировку сортиментов на погрузочный пункт осуществляет форвардер Амкодор 2661.01 с интенсивностью  $\mu = 0,2$  сортиментов / мин. Требуется подобрать марку харвестера, при которой будет рациональная загрузка всей лесопромышленной системы. На рис. 4 приведены примеры установления рациональных интенсивностей  $\lambda$  и  $\mu$  работы соответственно харвестера и форвардера в зависимости от конкретной интенсивности смежно работающей машины.

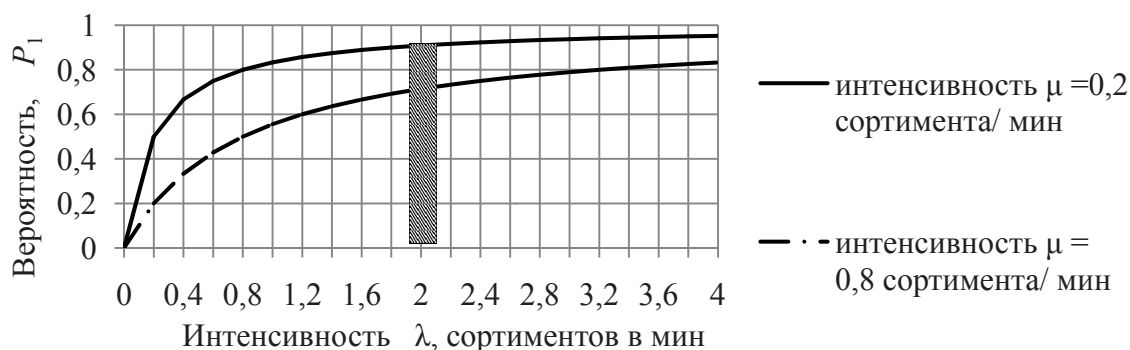


Рис. 4. Зависимости вероятностей состояний системы «харвестер – форвардер»

Применительно нашего примера, рациональная загрузка лесопромышленной системы с вероятностью  $P_1^* \geq 0,9$  (см. выделенную заштрихованную зону рис. 4) обеспечивается при интенсивности работы харвестера  $\lambda^* \geq 2$  сортиментов / мин. Такой интенсивностью работы обладает харвестер марки Амкодор 2551 и аналогичные ему [5].

Сравнительная оценка работы машинных комплексов «харвестер–форвардер» государственной и частной форм собственности по критерию удельной себестоимости заготовки  $1 \text{ м}^3$  древесины показала:

- основными затратами, влияющими на себестоимость заготовки  $1 \text{ м}^3$  древесины, являются: затраты на содержание и эксплуатацию машин, общепроизводственные расходы, ФЗП с отчислениями и затраты на сырье [6, 7];

- доля затрат на содержание и эксплуатацию машин и общепроизводственные расходы у частных лесозаготовителей будут меньше на 8 % и 1 % соответственно, чем аналогичные показатели в ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз»;

- доля затрат на сырье и ФЗП с отчислениями в ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз» будут меньше на 1 % и 6 % соответственно, чем указанные показатели у частных лесозаготовителей;

- основными факторами, влияющими на величину удельной себестоимости заготовки  $1 \text{ м}^3$  древесины машинным комплексом «Амкодор 2551 + Амкодор 2661-01» является средний объем хлыста и среднее расстояние трелевки (подвозки).

Совершенствование технического обслуживания и текущего ремонта лесных машин на предприятии должно быть направлено на увеличение сроков безотказной работы машин. Полученные результаты показывают, что существенное повышение износостойкости и усталостных характеристик деталей машин возможно за счет дополнительного упрочнения их поверхности при использовании жидкостной карбонитрации в комбинации с возбуждением в расплаве колебаний частотой 18 кГц. Это может способствовать повышению надежности и ресурса деталей машин, работающих в условиях сочетания трения и динамических нагрузок [8].

Образующиеся в процессе лесозаготовительного производства древесные отходы могут эффективно перерабатываться на топливную щепу. Производственный опыт предприятий, поставляющих и потребляющих топливную щепу в Республике Беларусь показывает, что низкокачественная древесина и образующиеся в процессе основной производственной деятельности древесные отходы могут концентрироваться непосредственно на лесосеках, верхних и промежуточных складах, а также на терминалах сезонного хранения древесного топлива у потребителей. При этом от места концентрации древесного сырья для энергетических целей зависит выбор технологии и применяемых машин. Отличительной особенностью рассматриваемых технологических процессов, при которых поставщиком древесного сырья являются предприятия Министерства лесного хозяйства РБ, а потребителями – предприятия Министерства жилищно-коммунального хозяйства или Министерство энергетики РБ, являются неравномерный в течение года характер заготовки топливной древесины и ярко выраженный сезонный характер ее потребления [9].

Вместе с тем ряд предприятий с целью снижения себестоимости производства продукции на успешно эксплуатируют собственные мини-ТЭЦ. Их особенность состоит в выработке энергии для собственных технологических нужд – отопления или сушки пиломатериалов за счет сжигания древесных отходов, образующихся в процессе основной производственной деятельности. При этом, в отличие от мини-ТЭЦ предприятий Минэнерго и МинЖКХ, данные энергетические объекты характеризуются устойчивым в течение года спросом на древесное топливо [6].

На рис. 5 показана перспективная технологическая схема функционирования терминала мини-ТЭЦ, на котором производимая топливная щепа накапливается и хранится совместно с готовыми для сжигания древесными отходами, доставляемыми автотранспортом со смежноработающих производственных цехов или участков.

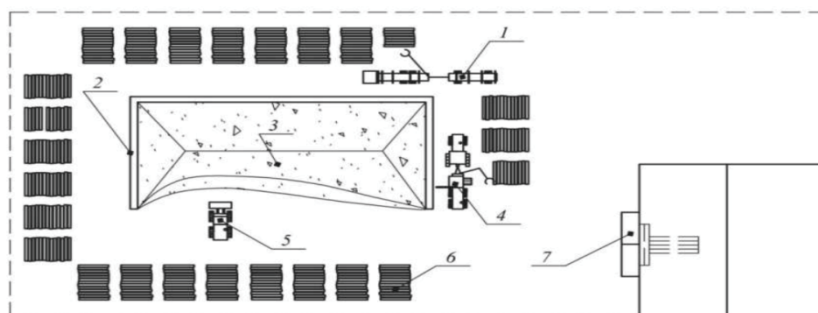


Рис. 5. Технологическая схема терминала древесного топлива мини-ТЭЦ:  
 1 – лесовозный автопоезд; 2 – сплошной забор; 3 – бурт древесного топлива;  
 4 – рубильная машина; 5 – лесопогрузчик; 6 – штабели дровяного долготья;  
 7 – расходные бункеры для котлов мини-ТЭЦ



В процессе открытого кучевого хранения древесного топлива, с одной стороны, происходит его атмосферная сушка и повышается теплотворная способность, а с другой – происходит естественная биологическая деструкция, приводящая к потерям древесного вещества. В этой связи вопросы оптимизации сроков хранения топливной древесины, обеспечивающие эффективное ее сжигание при минимальных потерях, являются весьма актуальными.

Проведенными исследованиями установлено [7]:

– в процессе открытого хранения в кучах измельченного древесного топлива происходит перераспределение влаги и образование двух слоев: внутреннего (биотопливо медленно подсыхает) и наружного (влажность зависит от метеорологических условий);

– из исследуемых видов топлива при кучевом хранении наименьшей относительной влажностью, имеющей устойчивую тенденцию к снижению, обладают неизмельченные сучья и ветви, что указывает на большую целесообразность их хранения в неизмельченном виде, чем хранение полученной из них топливной щепы;

– длительное открытое кучевое хранение щепы из стволовой части дерева, коры и опилок более целесообразно (с точки зрения подсушивания и роста теплотворной способности) под навесом или укрытием из различных водонепроницаемых материалов в виде полиэтиленовой пленки, брезента и др.;

– из рассмотренных видов древесного топлива кора наиболее подвержена процессам деструкции, поэтому требует минимальных сроков хранения и первоочередного использования (сжигания);

– при хранении древесного топлива в кучах (валах) в результате физических, химических и микробиологических процессов происходит уменьшение объемного веса щепы, при этом потери объемного веса биомассы в среднем составляют 0,8–1,5 % в месяц.

Оптимальные сроки хранения сучьев, ветвей и опилок хвойных пород при их атмосферной сушке не должны превышать 3,5–4 месяца, в то время как для топливной щепы из отходов лесозаготовок данный показатель составляет 1,5–2,5 месяца. Предлагаемые рекомендации по подготовке древесного сырья к измельчению и сжиганию позволяют повысить конкурентоспособность древесного топлива и существенно повысить его теплотворную способность при минимальных потерях [7].

#### Библиографические ссылки

1. *Духовник, А.А., Бискуп О.В.* Организация сбора и подвозки отходов лесозаготовок к местам их измельчения на топливную щепу // материалы 71-й науч.-техн. конф. учащихся, студентов и магистрантов: сб. науч. работ в 4-х ч. – Минск: БГТУ, 2020. – Ч.1. С. 225.
2. *Духовник А.А.* Пути совершенствования подвозки отходов лесозаготовок форвардерами / НИРС-2019: материалы 75-й студ. науч.-технич. конф. [электронное издание]. – Минск: БНТУ, 2019. С. 244.
3. Способ разработки лесосеки: пат. 23001 Респ. Беларусь, МПК А01G23/02 / *В.А. Симанович, Е.А. Леонов, Д.А. Кононович, С.Е. Арико, С.П. Мохов, С.А. Голякевич, А.А. Духовник*; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20180500; заявл. 04.12.2018; опубл. 27.03.2020.
4. *Духовник, А.А., Родькин Д. Г.* Технология освоения труднодоступного лесосечного фонда с минимальным использованием ручного труда // НИРС-2020 [Электронный ресурс]: материалы 76-й студ. науч.-технич. конф. – Минск: БНТУ, 2020. С. 176.
5. *Леонов Е.А., Игнатенко В.В., Духовник А.А., Бискуп О.В.* Математическое моделирование лесопромышленных задач при преподавании курса высшей математики // сб. статей XIII МНПК «Инновации в технологиях и образовании». – Белово: КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, 2020. – Т.2. С. 54-57.
6. *Леонов Е.А., Клоков Д.В., Гарабажу А.А., Духовник А.А.* Влияние сроков хранения древесного сырья и топливной щепы на их теплотворную способность // Труды БГТУ, 2020, серия 1, № 2. С. 186-191.
7. *Леонов Е.А., Клоков Д.В., Гарабажу А.А., Духовник А.А.* Исследование открытого хранения энергетического древесного сырья в условиях деревообрабатывающих предприятий Беларуси // матер. междунауч.-практ. конф. «Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе». – Воронеж: ФГБОУ ВО ВГАУ им. императора Петра I, 2019. – Ч.2. С. 138-145.
8. *Духовник А.А.* Оценка экономической эффективности производства топливной щепы // материалы 70-й науч.-техн. конф. учащихся, студентов и магистрантов: сб. науч. работ в 4-х ч. – Минск: БГТУ, 2019. – Ч.3. – С. 299-300.
9. *Духовник А.А., Фирьян М.Д.* Технология производства древесного топлива на терминале мини-ТЭЦ деревообрабатывающего предприятия // материалы 70-й науч.-техн. конф. учащихся, студентов и магистрантов: сб. науч. работ в 4-х ч. – Минск: БГТУ, 2019. – Ч. 1. С. 223-224.

©БНТУ

## МЕТОДЫ СИНТЕЗА ЦИФРОВЫХ ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ

К. Ю. ЖИРКОВА, А. Н. МЕШКОВА

НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ – Е. В. БУЛОЙЧИК, КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ДОЦЕНТ;

В. Ю. РУМЯНЦЕВ, КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ДОЦЕНТ

Рассмотрены особенности проектирования цифровых частотных фильтров с конечной и бесконечной импульсной характеристиками и основные методы их синтеза, показаны достоинства и недостатки фильтров с конечной и бесконечной импульсной характеристикой.

Ключевые слова: цифровые частотные фильтры, КИХ-фильтры, БИХ-фильтры, амплитудно-частотная характеристика.