

ОРГАНИЗАЦИЯ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ В СЕТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Введение.

Передача информации по сетям электропитания привлекает все большее внимание в силу доступности этой среды передачи множеству пользователей и все возрастающим объемом информационного обмена. Вместе с тем качественные характеристики сети электропитания, с точки зрения требований к качеству передачи данных, являются крайне неудовлетворительными. Это обусловлено тем, что сети электропитания не предназначены для иного использования, чем по прямому назначению – для электропитания бытовых приборов и промышленного оборудования достаточно большой мощности, являющихся источником промышленных помех большой мощности. В силу этого обстоятельства для различных по своим свойствам информационных массивов различен набор дестабилизирующих факторов сети электропитания и их вес в снижении качества передачи. Большой интерес представляет возможность организации высококачественной передачи речи в сети электропитания в пределах зоны питающей трансформаторной подстанции. Использование сети электропитания в качестве среды переноса речевого сигнала приводит к необходимости выполнения большого объема аналитических работ. В частности представляется весьма важным выбрать способ представления речевого сигнала, определить оптимальную сигнальную конструкцию для среды передачи. Учитывая высокий уровень помех в сети электропитания, конструкцию линейного сигнала будем отыскивать в классе широкополосных шумоподобных сигналов (ШПС), теория построения которых, изложена в [1].

Постановка задачи.

Пусть один или несколько источников речевой информации произвольно распределены в пределах группы зданий, электропитание которых осуществляется от трансформаторной подстанции-узла преобразования высокого напряжения в низкое (6000В/380/220В). В пределах этой же группы зданий – группы, питаемой от этой же трансформаторной подстанции, расположен приемник речевой информации. Будем рассматривать два режима работы:

- передача речи в реальном времени;
- передача речи в нереальном времени.

В реальном времени передача ведется непрерывно, а в нереальном времени имеет место предварительная запись речи с последующей её быстрой передачей приемнику.

Необходимо определить параметры канала передачи речи.

Решение задачи.

Решение поставленной задачи существенным образом зависит от объема информационного потока, требуемого качества речевого канала и свойств среды переноса сигнала.

Для поставленной задачи среда переноса сигнала есть сеть кабельных линий сети электропитания. Отсюда следует:

- затухание среды передачи растет с ростом частоты (амплитудно-частотная характеристика – АЧХ нелинейна);
- фазовая характеристика – линейна;
- сдвиг частот в среде передачи отсутствует.

Эта среда загружена одной спектральной компонентой на частоте (50 ± 1) Гц с амплитудой 220В и дополнительно, импульсными помехами большой мощности в результате производственной деятельности. В силу этого обстоятельства спектр помех неравномерный, но уровень помех спадает с ростом частоты. Помеха нестационарная, а когда снижается производственная активность человека (например, ночью или в выходные

дни), существенно уменьшается по уровню относительно своего среднего значения.

Для передачи речевого потока используем схему тракта, приведенную на рис.1.

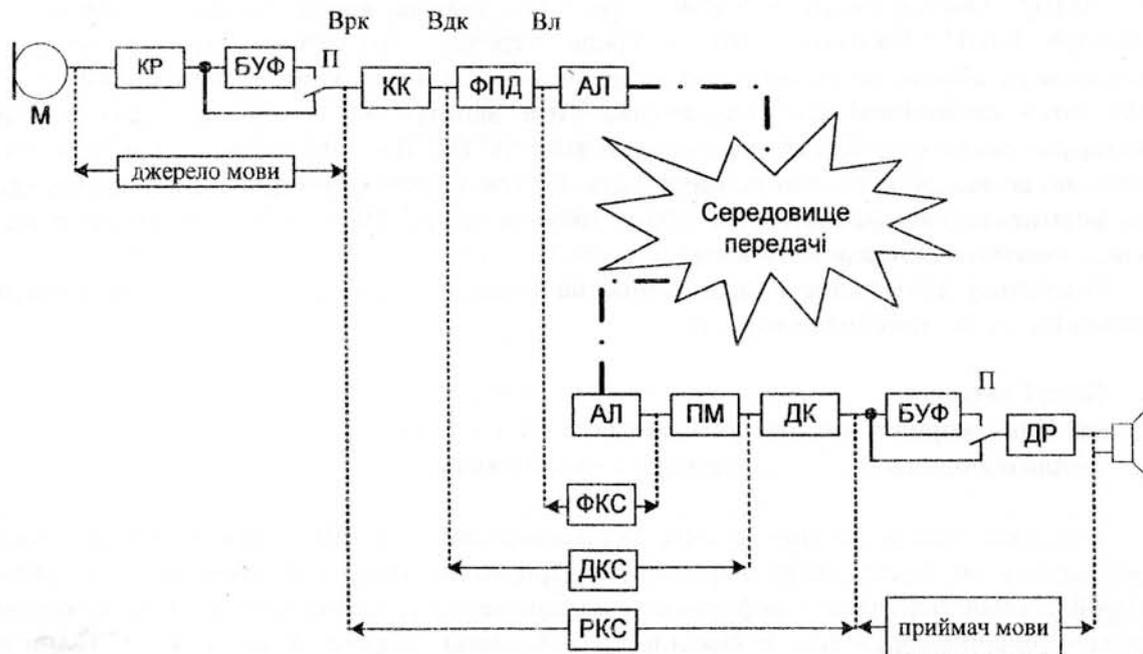


Рис. 1. Структурна схема мовного каналу

КР - кодер мови;

КК - кодер каналу;

ФПД - формувач передавача;

АЛ - адаптер лінійний;

ПМ - приймач;

ДК - декодер каналу;

ДР - декодер мови;

БУФ - буфер.

ФКС - фізичний первинний канал зв'язку

ДКС - дискретний канал зв'язку;

РКС - мовний канал зв'язку;

Врк - швидкість мовного каналу;

Вдк - швидкість дискретного каналу;

Вл - лінійна швидкість;

П - перемикач режиму «реального-
нереального» часу.

Рис. 1

В соответствии со схемой передающий комплект оборудования речевого канала содержит речевой кодер, обеспечивающий преобразование речевого сигнала в цифровую форму в формате импульсно-кодовой (ИКМ) или, какой-либо разновидности разностной модуляции. Для обеспечения режима нереального времени поток речевых данных записывается в буферную память большой емкости, обеспечивающую накопление не менее чем суточного массива данных. Переключатель «П» обеспечивает выбор режима реального и нереального времени. В реальном времени в канал передается речевой поток с выхода кодера речи, а в нереальном времени - с выхода буфера. Кодер канала обеспечивает внесение избыточности для защиты речи от ошибок канала связи. В реальном времени могут быть использованы коды с прямым исправлением ошибок, а в нереальном времени - коды с обнаружением ошибок и их исправлением путем переспроса сбойного блока данных. Кодер канала вносит в речевой поток избыточность, величина которой тем больше, чем выше требования по достоверности речевого потока. Формирователь сигнала передачи обеспечивает преобразование цифрового потока в форму пригодную для передачи, а адаптер линейный обеспечивает вывод сигнала в среду передачи, т.е. обеспечивает физическое сопряжение сигнала передатчика со средой передачи.

Приемный комплект выполняет обратные операции.

В этой структуре можно выделить три канала, вложенных один в другой. Основным - первичным каналом есть физический канал среды передачи (ФКС) со скоростью V_l . Этот

канал низкоякісний, ймовірність помилки в ньому близька до 0,5 (близька, але не рівна, т.к. рівність означає відсутність каналу). В силу цього обставини будемо досліджувати якість речового каналу в діапазоні ймовірностей помилок фізичного каналу в межах $0,5 - 0,10^{-2}$. Організувати в такому первинному каналі канал передачі даних можна, використовуючи ШПС. Ураховуючи, що в середі передачі відсутній зсув частот, будемо використовувати абсолютну фазову модуляцію, де модуляція фази лінійного сигналу досягається додаванням по модулю два біта даних на вході дискретного каналу і певну псевдовипадкову послідовність (ПСП). ФМ ШПС дозволяє отримати гранично можливу стійкість до перешкоди. В цьому випадку формувальник сигналу передачі є формувальником ФМ ШПС, а «вхід-вихід» тракту ШПС утворює дискретний канал зв'язу, введений в первинний канал.

Оскільки тривалість біта даних на вході дискретного каналу дорівнює тривалості періоду ПСП, то лінійна швидкість

$$V_{\text{л}} = T \cdot V_{\text{дк}} \quad (1),$$

де $V_{\text{дк}}$ – швидкість дискретного каналу;

T – тривалість ПСП, виражена в числі бітів.

Звернемо увагу, що в даному випадку використання ФМ ШПС підвищує надійність передаваної по каналу зв'язу інформації. При цьому інформаційна швидкість (швидкість з якою реально передається інформація) зменшується порівняно з фізичною швидкістю передачі інформації в каналі зв'язу в b раз (b – база сигналу). Як ПСП можуть бути використані послідовності Баркера або послідовність, породжена регістром зсуву з зворотним зв'язом з неприводимим генераторним поліномом. В цьому випадку база ШПС дорівнює періоду ПСП, т.е.,

$$b = T = 2^n - 1 \quad (2),$$

де n – порядок генераторного многочлена.

Застосування ФМ ШПС забезпечує певний вигоду в захищеності (захищеність – різниця рівнів сигналу і шуму в первинному каналі $\Delta P = P_{\text{н}} - P_{\text{ш}}$), при цьому

$$\Delta P = 10 \cdot \lg b = 10 \lg(2^n - 1) \quad (3).$$

Ця вигода досягається за рахунок втрати швидкості рівно в « $b=T$ » раз.

Визначимо чисельне значення лінійної швидкості для поставленої задачі. Для цього визначимо формат представлення мови. Ураховуючи, що в даній роботі пред'явлені більш високі вимоги до якості речового сигналу і динамічного діапазону, використання ІКМ формату призводить до необхідності підвищення частоти квантування до 16кГц і, таким чином, підвищення швидкості потоку мінімум до 128 Кбіт/сек. В цій зв'язі представляється цілорозумним відмовитися від ІКМ формату мови на користь формату адаптивної дельта-модуляції зі швидкістю речового потоку 64Кбіт/сек (АДМ-64). Застосування АДМ-64, при тих же показателях якості речового сигналу, дозволяє зменшити швидкість речового потоку в два рази, виключити необхідність синхронізації меж вибірок речового сигналу і зменшити вплив помилок на якість відновленого речового сигналу. Таким чином швидкість речового потоку при передачі в режимі реального часу становить 64Кбіт/сек. Передача в нереальному часі вимагає більш високої швидкості речового каналу. Так, якщо задатися співвідношенням часу запису (T_z) до часу очищення пам'яті (T_o) рівним K (пам'ять очищується в K раз швидше, ніж заповнюється), то очевидно, що

$$V_{\text{дк}} = K \cdot V_{\text{рп}}, \quad \text{а} \quad V_{\text{л}} = K \cdot b \cdot V_{\text{рп}} \quad (4).$$

Если выбрать $K=10$ при $V_{рп}=64\text{Кбит/сек}$, получим $V_{дк}=640\text{Кбит/сек}$. Столь высокое значение требуемой скорости дискретного канала не позволяет использовать большое значение базы ШПС. Так при $b=15$

(генераторный полином 4 порядка, например, вида $G(x) = x^4 + x^3 + 1$) $V_{л}=15 \cdot 640=9600\text{Кбит/сек}$.

Отсюда следует, что для режима нереального времени диапазон выбора базы ШПС находится в пределах 7 - 15 (что соответствует приросту защищенности $\Delta P = 10 \cdot \lg b$ от 8db до 14db), а диапазон значения линейной скорости в пределах 5-10 Мбит/сек.

Для режима реального времени при $V_{рп} = 64\text{Кбит/сек}$ допустимы существенно большие значение базы, так при $b=31$ (прирост защищенности $\Delta P = 15\text{db}$)

$$V_{л} = 64 \cdot 31 = 1984\text{Кбит/сек}$$

Если в среде передачи ФМ ШПС передается без дополнительных преобразований, то спектр ФМ ШПС есть спектр модулированной импульсной последовательности, огибающая которого описывается функцией $y = \frac{\sin x}{x}$. В этом случае, в режиме нереального времени при $b=15$ главный лепесток спектра линейного сигнала непрерывен в интервале 0 - 10,0 МГц и, в интервале 0-2,0 МГц, в режиме реального времени при $b=31$. Боковые лепестки линейного сигнала будут располагаться на 2, 3 гармониках несущей, численно равной линейной скорости, с соответствующим уменьшением амплитуд. Этот спектр можно перемещать вверх по оси частот модуляцией гармонической несущей. В целом отметим, что режим нереального времени или дополнительный сдвиг полосы сигнала вверх по частоте существенно увеличивает требуемую ширину полосы частот, что приводит к увеличению затухания в среде передачи и, как следствие, к снижению дальности связи или к увеличению уровня сигнала передачи для компенсации затухания линии.

Представляется целесообразным концентрация спектра в более узком диапазоне, его сдвиг в низкочастотную область, что приведет к росту дальности участка регенерации, повышению достоверности в канале данных или снижению уровня сигнала передачи при уменьшении затухания в среде передачи.

При работе в реальном времени заметно проявляются ситуации наличия и отсутствия речевого сигнала. Что бы уменьшить различимость этих состояний в среде передачи необходимо увеличить степень сходства этого сигнала с шумом.

Пусть вероятность ошибки первичного канала связи определяется как:

$$P_{\text{ош}} = 0,5e^{-0,5h^2} \quad (5),$$

где $h^2 = \frac{w_c}{w_n}$ -соотношение мощности сигнала и шума,

$$\text{а защищенность как } \Delta P = 10 \lg h^2 \quad (6).$$

Тогда в дискретном канале вероятность ошибки уменьшится за счет роста защищенности. По формулам (1 - 6) определены значения соотношения сигнал/ шум, защищенности и вероятности ошибки в физическом и дискретном канале связи при разных значениях базы. Результаты сведены в таблицу № 1.

Таблиця № 1

b=7				b=15		
Рош фк	h ² фкс	ΔРфкс db	ΔРдж db	Рош дк	ΔРдж db	Рош дк
0,495	0,02	-17,0	-8,5	0,46	-5,2	0,42
0,49	0,04	-14,0	-5,5	0,43	-2,2	0,36
0,45	0,2	-6,7	1,7	0,23	5,0	0,1
0,4	0,4	-3,5	5,0	0,1	8,2	1,8·10 ⁻²
0,3	1,0	0,1	8,5	1,5·10 ⁻²	11,8	2,3·10 ⁻⁴
0,25	1,3	1,4	9,8	4,2·10 ⁻³	13,1	1,8·10 ⁻⁵
0,2	1,8	2,6	11,0	8,5·10 ⁻⁴	14,3	6,0·10 ⁻⁷
0,1	3,2	5,0	13,4	7,8·10 ⁻⁶	16,7	3,5·10 ⁻¹¹

Примечание: отрицательная защищенность- это превышение уровня помехи над сигналом.

Если задаться требованиями к качеству речевого сигнала, то на основании приведенной таблицы можно определить требуемое качество физического канала и базу сигнала. Так, при использовании формата представления речи АДМ-64 ошибки с вероятностью появления 10⁻⁵ (не более 1 ошибки на секундном временном интервале) не будут оказывать практического влияния на качество речевого сигнала. В этом случае, при базе b=7 заданное качество может быть обеспечено при защищенности физического канала

ΔРфкс ≥ 5,0db и Рош фкс=0,1, а при базе b=15 -при ΔРфкс ≥ 1,4db и Рош фкс =0,25.

Если требуется обеспечить работу при худшем качестве первичного канала необходимо вводить помехоустойчивое кодирование. При передаче в нереальном времени будем использовать код Боуза- Чоудхури- Хоквингема (БЧХ- код) для обнаружения ошибок. Исправление достигается путем переспроса блока, содержащего ошибку. В этом звене передачи данных происходят потери скорости, обусловленные двумя причинами:

-в передаваемый блок помимо информационной части вводится служебная часть (статическая избыточность);

-за счет ошибок в канале связи часть блоков подлежит повторной передаче(динамическая избыточность).

Таким образом, относительная скорость передачи речевого канала равна:

$$V = \frac{V_{ркф}}{V_{рки}} = v_{ст} \cdot v_{дин} \quad (7),$$

где Vркф- фактическое значение скорости в речевом канале;

Vрки- номинальное значение скорости в речевом канале.

V_{ид} - статическая составляющая потери скорости;

V_{дин} - динамическая составляющая потери скорости.

Если полная длина блока содержит «n» бит, а информационная часть «m» бит, то

$$V_{ид} = \frac{m}{n} \quad (8).$$

Динамическая составляющая потери скорости определяется качеством канала и полной длиной блока и в соответствии с [2] равна:

$$V_{дин} = \frac{Q}{Q-Q^2+1} \quad (9),$$

где Q- вероятность правильного приема блока данных в речевом канале.

В свою очередь

$$Q = (1 - p_{дж})^n \quad (10),$$

где: p_{дж}- вероятность ошибки по битам в дискретном канале;

n- длина блока бит.

Определимся с объёмом вносимой избыточности. Для обеспечения цикловой синхронизации звена передачи данных необходимо ввести комбинацию «флаг» (например.

стандартную -01111110), для повышения достоверности и управления звеном выделим еще два байта. Таким образом, общий объем избыточности 3 байта или 24 бита.

Определим параметры речевого канала, если первичный канал характеризуется (см. табл.1): $P_{ош\ фкс}=0,3$; $\Delta P_{фкс\ db}=0,1db$; $b=7$; $P_{ош\ дк}=1,5 \cdot 10^{-2}$.

По формулам (7-10) определим параметры речевого канала для трех значений $n=96$ ($m=72$), $n=64$ ($m=40$), $n=32$ ($m=8$).

При $n=96, m=72$ $v_{\dot{n}o}=0,75$, $v_{\dot{a}e\dot{t}}=0,285$ и $v=0,2$.

При $n=64, m=40$ $v_{\dot{n}o}=0,625$, $v_{\dot{a}e\dot{t}}=0,49$ и $v=0,3$.

При $n=32, m=8$ $v_{\dot{n}o}=0,25$, $v_{\dot{a}e\dot{t}}=0,8$ и $v=0,2$.

Отсюда следует, что при столь большой вероятности ошибки первичного канала нельзя брать большие длины блоков, поскольку резко падает динамическая составляющая относительной скорости, а на коротких блоках - статическая составляющая. В любом случае относительная скорость составляет 0,2 - 0,3. Это значит что потери скорости составляют 3 - 5 раз, поэтому применение в этих условиях помехоустойчивого кодирования не имеет смысла.

Определим теперь параметры речевого канала, если первичный канал характеризуется (см. табл.1): $P_{ош\ фкс}=0,3$; $\Delta P_{фкс\ db}=0,1db$; $b=15$; $P_{ош\ дк}=2,3 \cdot 10^{-4}$

При $n=96, m=72$ $v_{\dot{n}o}=0,75$, $v_{\dot{a}e\dot{t}}=0,9995$ и $v=0,75$.

При $n=128, m=104$ $v_{\dot{n}o}=0,81$, $v_{\dot{a}e\dot{t}}=0,9991$ и $v=0,8$.

При $n=256, m=232$ $v_{\dot{n}o}=0,9$, $v_{\dot{a}e\dot{t}}=0,996$ и $v=0,896$.

При $n=512, m=448$ $v_{\dot{n}o}=0,953$, $v_{\dot{a}e\dot{t}}=0,986$ и $v=0,939$

При $n=1024, m=1000$ $v_{\dot{n}o}=0,976$, $v_{\dot{a}e\dot{t}}=0,953$ и $v=0,924$

Таким образом, при увеличении базы эффективность применения кода существенно возрастает, поскольку увеличивается длина блока (оптимальное значение длины 512-1024 бита), увеличивается и статическая и динамическая составляющая относительной скорости. При этом потери скорости не превышают 10%. В этом случае произойдет и рост достоверности в речевом канале. Определим фактор повышения достоверности как:

$$F = \frac{P_{ош}}{P_{ош\ дк}} \quad (11),$$

где $P_{дк}$ - вероятность ошибки по блокам в дискретном канале;

$P_{рк}$ - вероятность ошибки по блокам в речевом канале.

При вероятности ошибки в дискретном канале $P_{ош\ дк}$ и длине блока 512 бит вероятность ошибки по блокам будет равна $P_{дк}=1-(1-P_{ош\ дк})^{512}=0,1$ (грубо говоря из 10 блоков один переспрашивается). Для БЧХ кодов не все ошибки обнаруживаются кодом и, следовательно, исправляются переспросом. Если вектор ошибки кратен образующему код полиному, то эти ошибки кодом не обнаруживаются и не исправляются [2]. Эти ошибки и определяют остаточную ошибку декодирования БЧХ кода. Фактор повышения достоверности БЧХ кода-отношение общего числа ошибок к числу ошибок необнаруживаемых декодером ошибок к

$$F_k=2^k \quad (12).$$

Для полинома десятой степени $F_k=1024$. Это значит, что при использовании полинома десятой степени вероятность ошибки по блокам в речевом канале уменьшится так же в 1024 раза, что эквивалентно значению

$$P_{дк}=10^{-4} \text{ и } P_{ош\ дк}=1,9 \cdot 10^{-7}$$

Таким образом использование БЧХ кода приводит к эквивалентному снижению вероятности ошибки с $P_{ош\ дк}=2,3 \cdot 10^{-4}$ до

$$P_{ош\ дк}=1,9 \cdot 10^{-7} (F=1000).$$

Это также обозначает, что без кодирования будет 14 ошибок на секундном речевом интервале, а при использовании БЧХ кода только одна ошибка на 100 секундном речевом интервале. Коротко можно сказать, что помехоустойчивое кодирование ($b=15$, $\Delta P_{фкс\ db}=0,1db$) образует речевой канал натурального качества.

Рассмотрим теперь ситуацию при передаче речи в реальном времени. При передаче речи в реальном времени необходимо использовать коды с прямым исправлением ошибок. В качестве исходной ситуации в среде передачи возьмем при $b=7$ и $\Delta P_{\text{фкс db}} = 0,1\text{db}$, тогда $P_{\text{ош дк}} = 1,5 \cdot 10^{-2}$.

Для коррекции ошибок используем БЧХкод, исправляющий четырехкратные ошибки и блок длиной 63 бита. Отсюда непосредственно вытекает, что необходимо использовать код-произведение 4 полномов 6 степени (потому, что это минимальная степень, при которой могут быть сформированы локаторы ошибки в блоке из 63 бит, а 4 полинома – поскольку кратность исправляемой ошибки $t=4$). При $t=4$ кодовое расстояние

$d=2t-1=7$. Отсюда по таблицам [3] получим:

$$G(x) = (x^6 + x + 1)(x^6 + x^4 + x^2 + x + 1)(x^6 + x^5 + x^2 + x + 1)(x^6 + x^3 + 1).$$

Определим вероятность правильного приема 63-битового блока данных как:

$$Q = \sum_{t=0}^4 P(t) \quad (12),$$

где $P(t)$ – вероятность появления t -кратной ошибки и

$$P(t) = C_{63}^t p^t q^{63-t} \quad (13).$$

Тогда $Q=0,9973$, а $P_{\text{ош бл}}=2,7 \cdot 10^{-3}$. Если не применять коррекцию ошибок, то в этих же условиях $P_{\text{о бл}} = 1 - (1-p)^{63} = 0,614$. Таким образом, фактор повышения достоверности оказывается равным $F=0,614:0,0027=227$, что эквивалентно снижению вероятности ошибок в среде передачи с 0,015 до значения $0,015:227=6,6 \cdot 10^{-5}$ или росту защищенности примерно на 3db. Отсюда следует, что при работе в реальном времени использование кода с прямым исправлением ошибок весьма эффективно, но требует увеличения скорости передачи для компенсации потери пропускной способности, обусловленной введением избыточности. Для рассмотренного примера $n=63$, а $m=63-24=39$. тогда $v_{\text{нд}}=39:63=0,619$. При передаче речи на скорости 64Кбит/сек, линейная скорость должна быть равна $V_{\text{л}}=V_{\text{рк}}:v_{\text{см}}=64:0,619=103,4$ Кбит/сек.

Выводы

Выполненные расчеты показывают условия реализуемости канала передачи речевой информации в сети электропитания и позволяют, в зависимости от предъявленных требований выбрать оптимальные параметры устройства.

Список литературы

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. - М.: Радио и связь, 1985. – с. 478.
2. Швыдкий В.В., Зеленько Ю.В., Ночевнов Д.П. Оценка обнаруживающей способности БЧХ кодов Сборник «Вісник ЧПТ» №3 1999р.
3. Передача дискретных сообщений Сборник под редакцией В.П.Шувалова М., «Радио и связь», 1990.

Поступила 10.12.2004г.

УДК 681.3.06

Гальчевський Ю.Л., Гайша О.О.

"ЛОГІЧНІ" ТА "ФІЗИЧНІ" ЗАХИСТИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІД НЕСАНКЦІОНОВАНОГО КОПІЮВАННЯ

Проблема піратства є досить важливою і можна сказати наболілою для сучасного світу інформаційних технологій. Економічні аспекти розповсюдження нелегального програмного забезпечення (далі - ПЗ) досить докладно описані в літературі (див., наприклад [1]). Нажаль цивілізованими методами запобігти піратству не уявляється