

УДК 621.9.06

## Синтез кода Хаффмена–Либермана для систем ЧПУ металлорежущими станками класса DNC

Бикташев Д.А., Либерман Я.Л., Горбунова Л.Н.

Системы ЧПУ класса DNC являются наиболее рациональным и перспективным видом систем управления оборудованием и, в частности, металлорежущими станками в гибких автоматизированных производствах. В системах DNC применяют два вида кодов: корректирующие – коды ISO-7bit, Чудакова и оптимальные (статистические) коды, алгоритм синтеза которых предложен Хаффменом. Обнаруживать ошибки в программах, передаваемым в кодах Хаффмена, в случаях, когда ошибки все-таки появляются, чрезвычайно затруднительно. Это влечет за собой существенное усложнение интерфейсов пристаночных систем CNC и требует специального математического обеспечения их работы. В статье предлагается оптимальный неравномерный код Хаффмена–Либермана, предназначенный для передачи управляющих программ от ЭВМ к пристаночным системам CNC в гибких автоматизированных производствах. Описывается один из возможных алгоритмов синтеза таких кодов и сравнивается предложенный код с кодами ISO-7bit, Чудакова и кодом, построенным по известному алгоритму Хаффмена. Применение кода Хаффмена–Либермана повысит безаварийность систем ЧПУ класса DNC, уменьшит вероятность выпуска брака при их эксплуатации и возможные экономические потери.

*Ключевые слова:* код Хаффмена–Либермана, системы ЧПУ, контроль по паритету, гибкие производственные системы.

## Huffman-Lieberman synthesis code for CNC systems by DNC class machine tools

Biktashev D.A., Lieberman Y.L., Gorbunova L.N.

DNC class CNC systems are the most rational and promising type of equipment and control systems, in particular, machine tools for flexible automated production. The two types of codes are used in the DNC systems such as Chudakov's corrective ISO-7bit codes and the optimal (statistical) codes, based on Huffman's synthesis algorithm. It is extremely difficult to detect errors in the programs made in Huffman's code, if there are any. This entails a significant complication of CNC system interfaces and requires special software of their work. The paper presents an optimal Huffman-Lieberman uneven code for the transmission of control programs from the computer to the CNC machine tools designed for flexible automated production. The paper describes one of the possible synthesis algorithms of such codes and compares Huffman-Lieberman code with ISO-7bit Chudakov's and Huffman's algorithm. Huffman-Lieberman code will improve accident-free DNC class CNC systems, as well as reduce possible production failures and economic losses.

*Keywords:* Huffman-Lieberman code, CNC system, parity control, flexible automated production.

### Введение

Как известно [1], системы ЧПУ класса DNC – наиболее рациональный и перспективный вид систем управления оборудованием и, в частности, металлорежущими станками в гибких автоматизированных производствах. Основой таких систем в машиностроении являются пристаночные системы класса

CNC в сочетании с ЭВМ, обеспечивающей согласование работы станков и транспортирующих машин, автоматизированных складов, контрольно-испытательного оборудования и т. п. Функции ЭВМ в системах DNC весьма широки и включают в себя решение разнообразных планово-экономических, логистических и технологических задач, в том

числе задач диспетчирования. К указанным задачам относятся и такие, как расчет управляющих программ для станков с ЧПУ и передача их системам CNC. Передача программ производится в кодированном виде, системы же CNC осуществляют их декодирование и непосредственное управление приводами и электроавтоматикой станков.

Во избежание увеличения числа информационных каналов, связывающих ЭВМ со станками, передачу программ обычно ведут в последовательных кодах. Станочные интерфейсы их преобразуют в параллельный код ISO-7bit, который и отрабатывается далее пристаночными системами. Передача информации в последовательных кодах широко распространена в технике связи, поскольку при ней ошибка передачи из-за отказов каналов связи оказывается минимальной. Вместе с тем время передачи в этом случае существенно больше, чем при передаче параллельными кодами, что влечет за собой увеличение вероятности искажения информации под воздействием внешних помех. Последнее же может привести к экономическим потерям, нежелательным техническим ситуациям, а в ряде случаев даже к авариям.

### **Постановка задач работы**

Для того, чтобы уменьшить вероятность искажений информации и ошибок, при последовательном кодировании применяют разные средства: специальное экранирование кабелей связи, особое модулирование сигналов и др. Однако наряду с ними используют и специальные коды. В системах DNC применяют два вида таких кодов: корректирующие (коды с обнаружением ошибок) и оптимальные (статистические) коды. Из первых наиболее известен последовательный код ISO-7bit. От параллельного кода с таким же названием он отличается только способом развертки его кодовых комбинаций во времени. Символы же последовательного и параллельного кодов

ISO-7bit представляются одними и теми же восьмиразрядными двоичными комбинациями.

Код ISO-7bit позволяет производить контроль кодовых комбинаций по паритету – по четности числа входящих в них единиц. Это дает возможность довольно легко обнаруживать все ошибки нечетной кратности, возможные при передаче управляющих программ: однократные, трехкратные, пятикратные и т. п., а также часть ошибок четной кратности. Как показывает практика, такой способности кода обнаруживать ошибки для подавляющего большинства систем DNC, существующих в настоящее время, вполне достаточно. Тем не менее, в ЭНИМСе был разработан код с еще более высокой корректирующей способностью – код Чудакова [2]. Символы этого кода те же что и кода ISO-7bit, но представляются они шестнадцатиразрядными двоичными комбинациями. Комбинации сформированы по определенным правилам, позволяющим преобразовывать их в комбинации кода ISO-7bit. При этом могут обнаруживаться ошибки любой кратности и автоматически исправляться однократные ошибки в результатах преобразования.

Несмотря на то, что корректирующая способность кода Чудакова столь высока, широкого распространения в системах DNC он не получил, поскольку время передачи его кодовых комбинаций вдвое больше, чем у кода ISO-7bit. Вместо него начали применяться оптимальные (статистические) коды, алгоритм синтеза которых предложен в [3] Хаффменом. Оптимальный код представляет собой совокупность комбинаций, длины которых примерно обратно пропорциональны вероятностям их использования. При этом он обладает так называемым свойством перфиксности – ни одна его кодовая комбинация не является началом другой (это свойство гарантирует однозначность его декодирования). Средняя длина комбинаций оптимального

кода близка к минимально возможной при данном распределении вероятностей, а потому длина всего сообщения, передаваемого по каналу связи, закодированного таким кодом, тоже практически минимальна. Пропускная способность канала в таком случае оказывается реализуемой наиболее полно, а время передачи информации весьма малым.

Первоначально оптимальные коды (коды Хаффмана) использовались только в системах телекоммуникации, однако уже в 1975 году в работе [4] было описано их применение для кодирования информации управляющих программ станков с ЧПУ. В указанной работе предлагались коды для представления только цифровой информации станочных программ. Позднее же была показана целесообразность и возможность их применения для отображения как цифровой, так и буквенной информации в таких программах [5].

Сокращение времени передачи управляющих программ в системах DNC за счет использования оптимальных кодов существенно снижает вероятность их искажения внешними помехами [6,7]. Однако обнаруживать ошибки в программах, передаваемым в кодах Хаффмана, в случаях, когда ошибки все-таки появляются, чрезвычайно затруднительно. Последнее влечет за собой существенное усложнение интерфейсов пристаночных систем CNC и требует специального математического обеспечения их работы. Это чрезвычайно ограничивает возможность применения оптимальных кодов в рассматриваемых системах. Чтобы отмеченное предотвратить, можно воспользоваться разными способами, например, модифицировать рассматриваемые коды и алгоритм их синтеза с целью повышения их корректирующей способности. Если учесть, что вполне приемлемой для систем DNC является способность обнаруживать ошибки кода ISO-7bit, то такую задачу можно сформулировать как разработку алгоритма синтеза оптимальных кодов с контролем по

паритету. Эта задача, в частности разработка одного из возможных вариантов алгоритма синтеза таких кодов и самого кода (кода Хаффмана–Либбермана), и решается в настоящей работе.

#### Алгоритм синтеза кода Хаффмана-Либбермана

В основу предлагаемого алгоритма положен классический алгоритм Хаффмана и принципы, изложенные в [8]. Условно он может быть разбит на три части (рис. 1-рис.3): первая – блоки 1–19, вторая – блоки 20–35 и третья – блоки 36–46. Работа первой части начинается с ввода исходных данных, которыми служат  $n$  кодируемых символов  $s_1...s_n$  и их вероятности  $v_1...v_n$ . Далее пары « $s_i - v_i$ » ранжируются в порядке убывания вероятностей, а затем формируется последовательность чисел  $w_1...w_{n+n-1}$  путем попарного суммирования вероятностей, начиная с наименьших. Каждая сумма при этом вписывается в последовательность  $v_i$  так, чтобы расположение чисел в ней в порядке убывания не нарушалась. Если какому-либо из чисел  $w_x$  соответствует кодируемый символ, то он записывается в ячейку « $t_x$ » ( $t_x \neq ' '$ ), если же такого символа нет, то ячейка  $t_x$  остается пустой ( $t_x = ' '$ ).

После этого происходит переход ко второй части алгоритма: начинается формирование кодовых комбинаций, каждая из которых представляет собой упорядоченную совокупность цифр «0» и «1» и последовательно записывается в ячейки  $h_2...h_{n+n-1}$ .

Если числу  $w_2$  соответствует  $t_2 = ' '$ , а числу  $w_3$  соответствует  $t_3 = ' '$  или  $t_3 \neq ' '$ , то в  $h_2$  записывается "1", а в  $h_3$  - "0". Если же числу  $w_2$  соответствует  $t_2 \neq ' '$ , а числу  $w_3$  тоже  $t_3 = ' '$  или  $t_3 \neq ' '$ , то в  $h_2$  записывается "0", а в  $h_3$  - "1". Далее для всех пар  $w_{p-1}$  и  $w_p$ , начиная с пары  $w_4$  и  $w_5$  и заканчивая парой  $w_{n+n-2}$  и  $w_{n+n-1}$ , в  $h_{p-1}$  и  $h_p$  записываются комбинации цифр «0» и «1», составляемые по следующим правилам.

1. Для каждой пары  $w_{p-1}$  и  $w_p$  в последовательности  $w_x$  находится  $w_d$ , равное их сумме, и в  $h_{p-1}$  и  $h_p$  записывается  $h_d$ .

2. Если  $t_{p-1} = ' '$  и  $t_p = ' '$ , то к  $h_{p-1}$  добавляется справа «0», а к  $h_p$  – «1».

3. Если  $t_{p-1} \neq ' '$ , а  $t_p = ' '$  или  $t_p \neq ' '$ , то комбинация  $h_{p-1}$  проверяется на четность и в случае, когда в ней число цифр «1» нечетно, к  $h_{p-1}$  дописывается «1», а к  $h_p$  – «0». В противном случае – наоборот.

4. Если  $t_{p-1} = ' '$  и  $t_p \neq ' '$ , то комбинация  $h_p$  проверяется на четность и в случае, когда в ней число цифр «1» нечетно, к  $h_{p-1}$  дописывается «0», а к  $h_p$  – «1». В противном случае – наоборот.

Третья часть алгоритма предназначена для завершения синтеза комбинаций требуемого кода  $k_1...k_n$ . В нее входят окончательная проверка синтезированных комбинаций на четность и, при необходимости, их коррекция. При отработке этой части алгоритма производится также уточнение ранжирования комбинаций по длине, проверка их на префиксность и вывод пар « $s_i - k_i$ », в которых кодируемые символы упорядочены по уменьшению их вероятности, а кодовые комбинации по возрастанию длины.

### Синтезированный код и его эффективность

Используя описанный алгоритм, можно синтезировать коды Хаффмена-Либермана для передачи сообщений различных видов: текстов, написанных на разных языках, числовых массивов, а также управляющих программ для станков с ЧПУ. Однако для этого необходимо иметь достоверные и полные данные о вероятности появления в сообщениях тех или иных кодируемых символов. В то время как, например, для букв русского, английского и ряда других языков, из которых формируются тексты, такие данные, в основном, имеются [9], для символов, применяемых при кодировании информации станочных управляющих программ, они недоста-

точно полны. В связи с этим нами были проведены специальные статистические исследования программ, реально используемых в промышленности, что позволило получить требуемое.

Статистические исследования управляющих программ для станков с ЧПУ были проведены на шести крупных машиностроительных заводах различного профиля, продукция которых охватывает изделия от приборов точной механики до тяжелого механического оборудования металлургических и химических предприятий. Программы для исследования выбирались случайным образом, однако впоследствии выяснилось, что большинство из них ориентировано на токарную обработку, меньшая часть – на фрезерную, и еще меньшая часть – на обработку на многооперационных станках, что вполне соответствует характеру распределения указанных видов обработки в промышленности. Всего было изучено свыше 500 программ общим объемом более 35 тыс. кадров. В результате были установлены вероятности всех символов, встречающихся в программах, которые приведены в табл. 1.

На основе полученных данных были синтезированы код Хаффмена-Либермана, также приведенный в табл. 1. Нетрудно показать, что этот код, обладая такой же корректирующей способностью, как и код ISO-7bit, существенно эффективнее него, а тем более кода Чудакова. Для этого можно воспользоваться применяемым в подобных случаях [10] коэффициентом относительной эффективности

$$K_{ос} = \frac{-\sum_{i=1}^N V_i \log_2 V_i}{\sum_{i=0}^N V_i A_i} \leq 1$$

и коэффициентом сжатия

$$K_{сж} = \frac{] \log_2 N [}{\sum_{i=0}^N V_i A_i},$$

где  $N$  – объем кода (в данном случае  $N = 50$ );  $A_i$  – длина кодовых комбинаций;  $V_i$  – вероятность кодовых комбинаций;  $] [$  – обозначение ближайшего большего целого числа.

Первый показатель характеризует степень близости данного кода к идеальному, максимально полно реализующему пропускную способность канала связи. Второй характеризует уменьшение средней длины комбинаций при оптимальном кодировании. В сравнении с равномерным двоичным кодом минимальной избыточности (кодом с наименьшим и одинаковым числом разрядов в комбинациях) он показывает, во сколько раз сократится время передачи или длина сообщений (в данном случае управляющих программ), передаваемых данных кодом.

Как показывают расчеты (табл. 2.), предлагаемый код почти вдвое полнее использует пропускную способность канала связи ЭВМ со станками в системах DNC, чем код ISO-7bit, и вчетверо полнее, чем код Чудакова. При этом время передачи программ при его использовании в среднем сокращается соответственно более, чем в 1,75 раза и в 3,5 раза. Вместе с тем, он уступает по этим показателям обычному оптимальному коду, построенному по известному алгоритму Хаффмена, примерно на 13%.

### Выводы

Несмотря на некоторое снижение эффективности кода Хаффмена–Либбермана по сравнению с традиционным кодом Хаффмена (вряд ли оно столь уж существенно для практики), в целом его можно считать весьма перспективным, так как он ощутимо превосходит по эффективности корректирующие коды, ориентированные на применение в системах DNC, и обладает вполне достаточной и просто реализуемой способностью обнаруживать ошибки, возможные при передаче программ, что не позволяет код Хаффмена. Поскольку последнее, как отмечалось ранее, весьма ограничивает возможности применения кода Хаффмена в системах DNC, а код Хаффмена–Либбермана это ограничение снимает, код, предложенный в настоящей статье, несо-

менно может использоваться широко. Его применение повысит безаварийность систем ЧПУ класса DNC, уменьшит вероятность выпуска брака при их эксплуатации и возможные экономические потери.

### Литература

1. Ратмиров В.А. Управление станками гибких производственных систем. – М.: Машиностроение, 1987.
2. Чудаков А.Д. Системы управления гибкими комплексами механообработки. – М.: Машиностроение, 1987.
3. Хаффмен Д. Метод построения кодов с минимальной избыточностью // Кибернетический сборник, № 3, Изд-во иностр. лит., 1961.
4. Либберман Я.Л. Статистические коды для систем числового управления станками непосредственно от ЭВМ // Станки и инструмент, 1975, № 7.
5. Либберман Я.Л. Принципы построения и перспективы развития систем мониторинга для металлорежущих станков. – М.: ВНИИТЭМР, 1989.
6. Либберман Я.Л., Журов С.П. Повышение надежности систем ЧПУ металлорежущими станками класса DNC методом статистического кодирования / Качество функционирования и надежность БМС. – Свердловск: УрО АН СССР, 1988.
7. Либберман Я.Л., Тимашев С.А., Журов С.П. Статистическое кодирование информации управляющих программ как способ повышения надежности систем ЧПУ класса DNC. – Свердловск: УрО АН СССР, 1988.
8. Либберман Я.Л. Системы мониторинга для металлорежущих станков. – Екатеринбург: Урал. госуд. технич. ун-т, 2000.
9. Цымбал В.П. Теория информации и кодирование. – Киев: Вища школа, 1973.
10. Новик Д.А. Эффективное кодирование. – М.-Л.: Энергия, 1965.

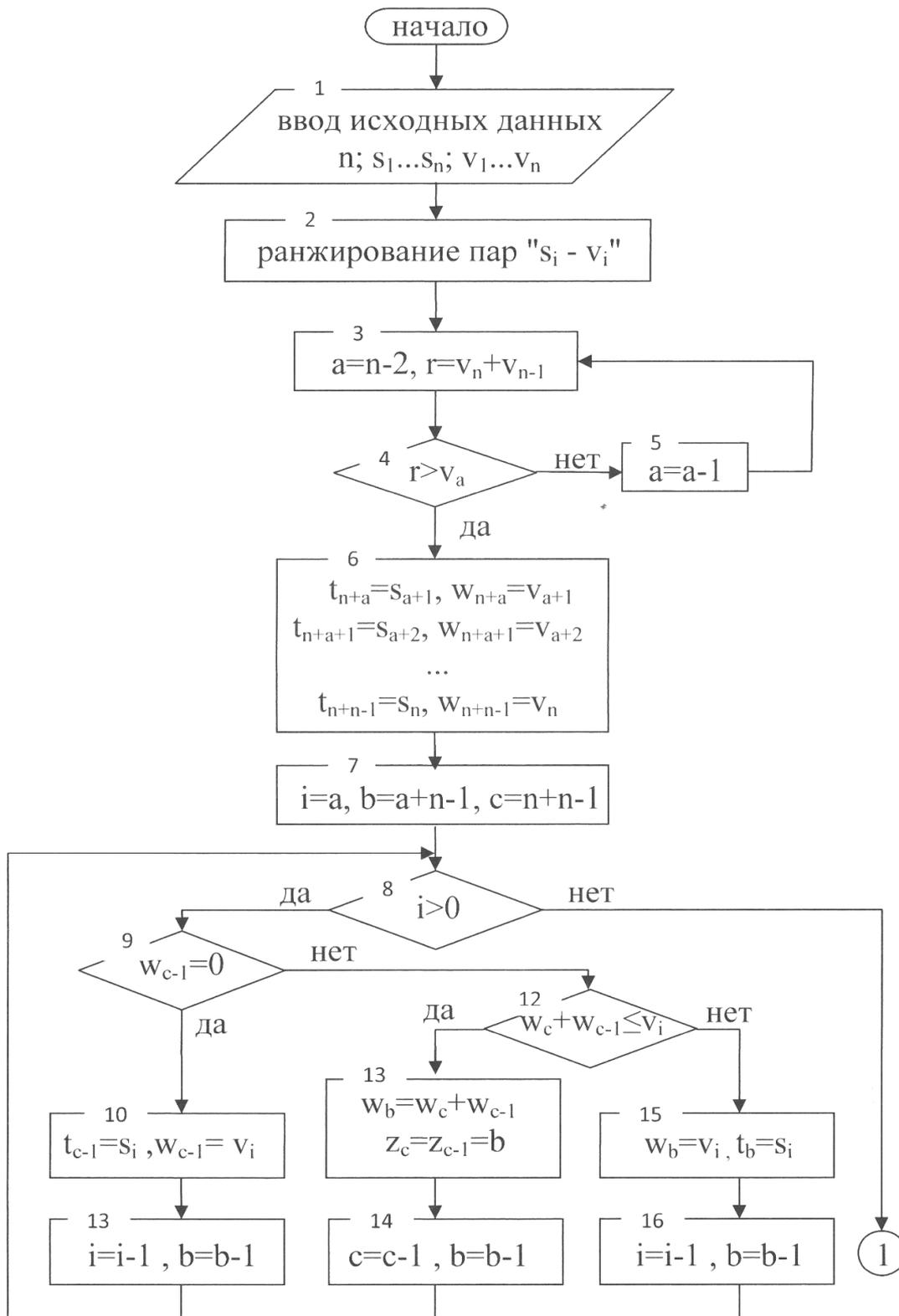


Рис. 1. Алгоритм синтеза кода Хаффмена-Либермана.

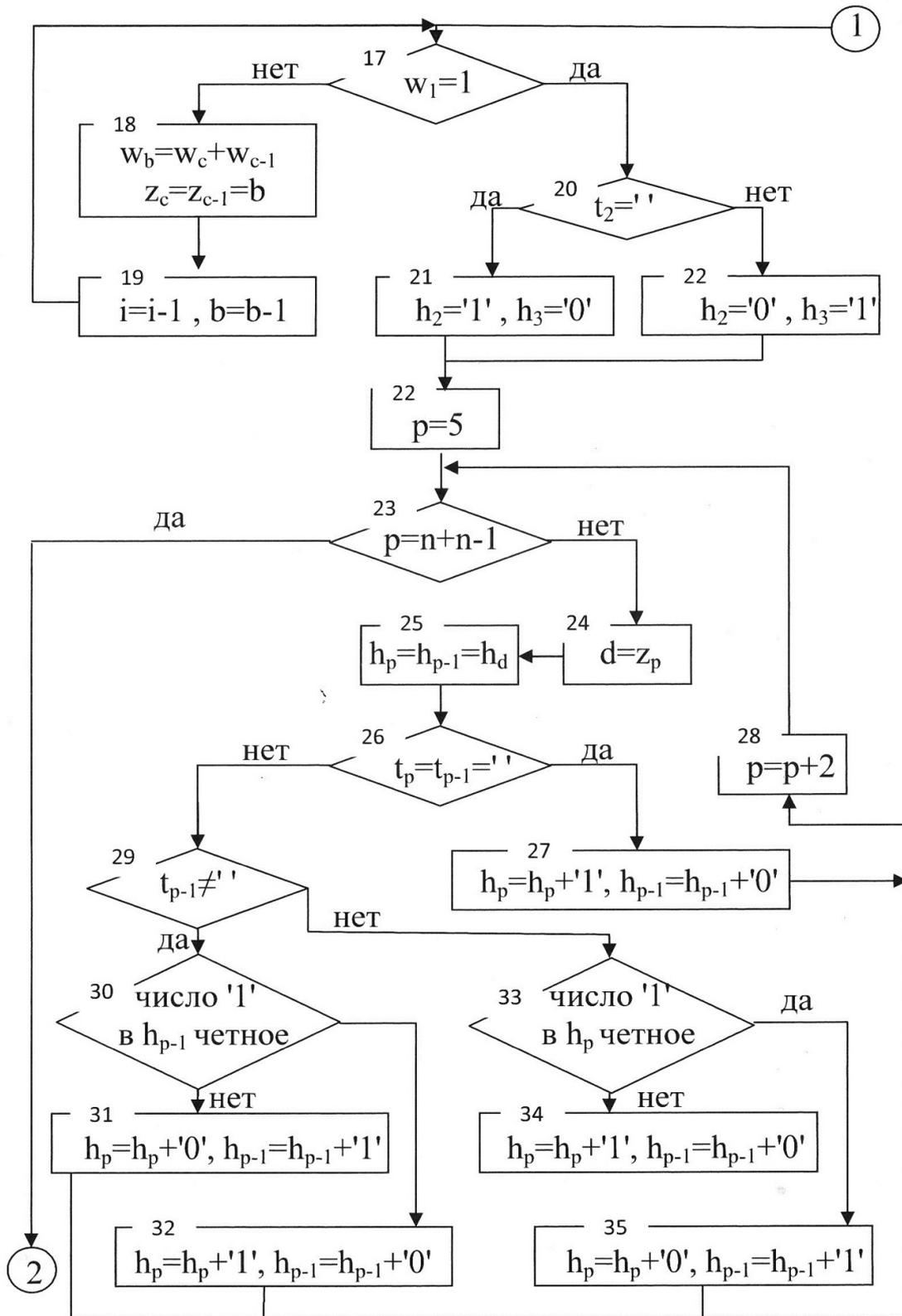


Рис. 2. Алгоритм синтеза кода Хаффмена-Либермана (продолжение).

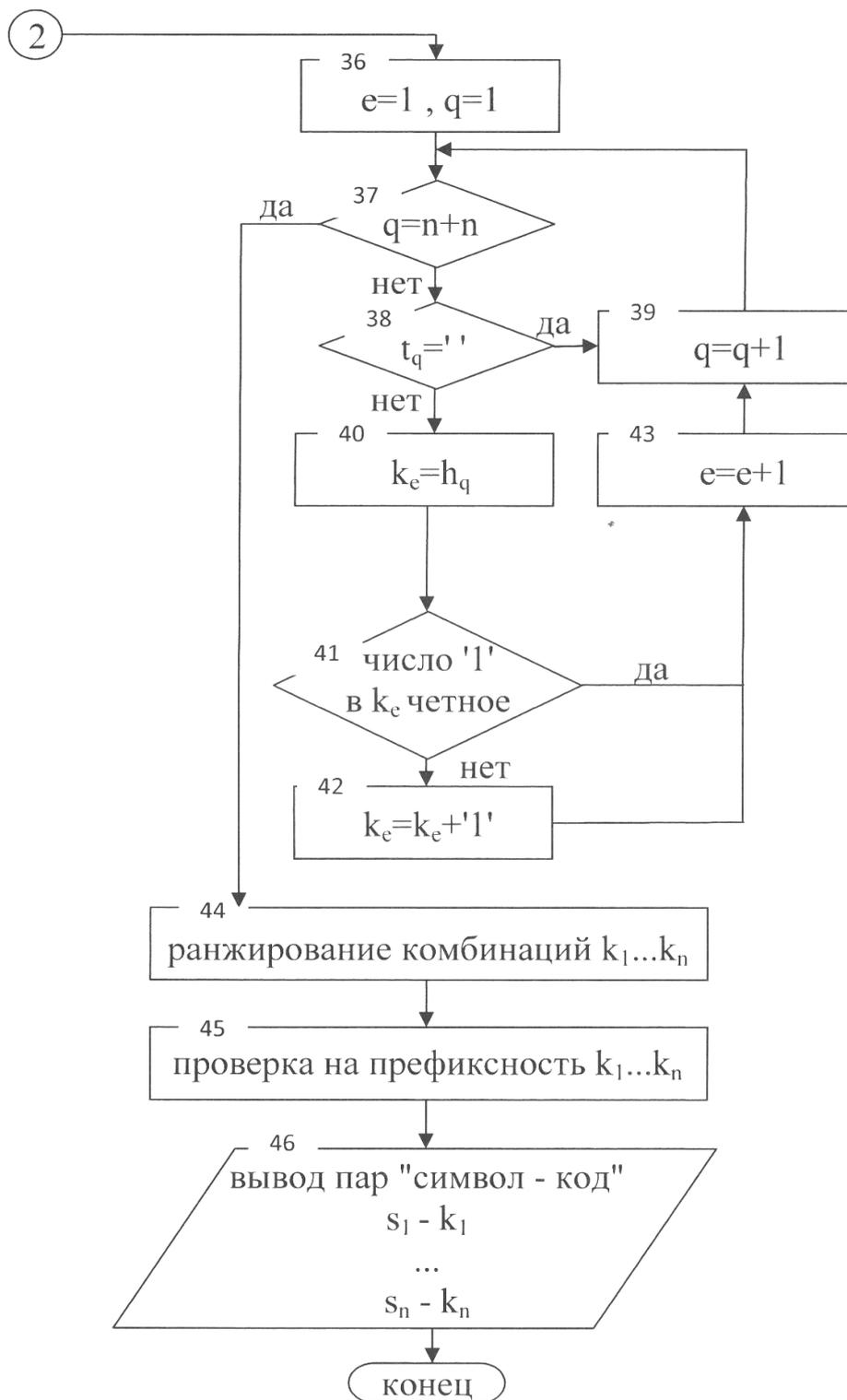


Рис. 3. Алгоритм синтеза кода Хаффмена–Либермана (окончание).

## Код Хаффмена-Либермана

Кодируемый символ	Вероятность	Код	Кодируемый символ	Вероятность	Код
∅	0,313109	11	/	0,001400	010000001
1	0,087200	011	%	0,001200	0100000001
N	0,065100	1010	R	0,001100	0010000001
2	0,054700	0000	SP	0,001000	0010001101
4	0,054600	0011	D	0,000900	0010001110
3	0,042500	0101	H	0,000700	00100011001
5	0,040800	10001	B	0,000500	00100011111
LF	0,038300	10010	:	0,000400	001000111101
X	0,032500	10111	A	0,000300	001000000001
G	0,031900	00011	K	0,000300	001000000010
6	0,030100	00101	Q	0,000300	0010000000001
9	0,029400	01001	P	0,000200	0010000000111
8	0,026100	101101	NUL	0,000013	0010000000110001
Z	0,026100	000101	BS	0,000012	0010000000110010
7	0,021600	100001	HT	0,000011	0010000000110100
F	0,020600	100111	CR	0,000010	0010000000110111
+	0,017700	001001	)	0,000009	00100000001101011
-	0,017400	010001	(	0,000008	00100000001100001
M	0,012100	1000001	C	0,000007	00100000001100001
Y	0,011400	1001101	E	0,000006	00100000001101101
L	0,005600	0100001	O	0,000005	00100000001100001
S	0,004100	00100001	U	0,000004	001000000011011001
T	0,003900	00100010	V	0,000003	001000000011001101
J	0,002500	01000001	W	0,000002	0010000000110011001
I	0,002300	001000001	DEL	0,000001	00100000001100110001

Таблица 2

## Показатели эффективности кодов

Показатель	Код ISO-7bit	Код Чудакова	Код Хаффмена	Код Хаффмена-Либермана
$K_{оз}$	0,440	0,220	0,992	0,838
$K_{сж}$	0,750	0,375	1,553	1,313

## References

1. *Ratmirov V.A.* Machine Control of flexible manufacturing systems. – Moscow: Mashinostroenie, 1987.
2. *Chudacov A.D.* Management system flexible machining complexes. – Moscow: Mashinostroenie, 1987.

3. *Huffman D.* Method of building codes with minimum redundancy // Cybernetic collection, № 3, 1961.

4. *Lieberman Y.L.* Statistical codes for systems of numerical control machines directly from the computer // Machines and Tools, 1975, № 7.

5. *Lieberman Y.L.* Principles and prospects of development of monitoring systems for machine tools. – Moscow: VNIITEMR, 1989.
6. *Lieberman Y.L., Zhurov S.P.* Increased reliability of CNC machine tools DNC-class method of statistical encoding / Quality performance and reliability of the BMS. – Sverdlovsk, Ural Branch of the USSR Academy of Sciences, 1988.
7. *Lieberman Y.L., Timashev S.A., Zhurov S.P.* Statistical coding of information management programs as a way to enhance the reliability of the DNC class CNC. – Sverdlovsk, Ural Branch of the USSR Academy of Sciences, 1988.
8. *Lieberman Y.L.* Monitoring systems for machine tools. – Ekaterinburg: Ural. gov. techn. university Press, 2000.
9. *Tsybal V.P.* Information Theory and Coding. – Kiev, Visha School, 1973.
10. *Novick D.A.* Efficient coding. – Leningrad: Energiya, 1965.

**Статья поступила в редакцию 9 января 2013 г.**

---

*Бикташев Денис Андреевич* – инженер кафедры «Металлорежущие станки и инструмент» Уральского федерального университета. E-mail: msi@mmf.ustu.ru

*Либерман Яков Львович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлообработывающие станки и комплексы» Уральского федерального университета. E-mail: yakov\_liberman@list.ru

*Горбунова Любовь Николаевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности» Политехнического института Сибирского федерального университета. E-mail: Brigitta\_81@mail.ru

---

*Biktashev Denis Andreevich* – Engineer, Ural Federal University. E-mail: msi@mmf.ustu.ru

*Lieberman Yakov Lvovich* – Ph.D., Ural Federal University. E-mail: yakov\_liberman@list.ru

*Gorbunova Lyubov Nikolaevna* – Ph.D., Siberian Federal University. E-mail: Brigitta\_81@mail.ru