

РАЗДЕЛ 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

3. Georghiades, A.S. From Few to Many: Generative Models for Recognition Under Variable Pose and Illumination / A.S. Georghiades, P.N. Belhumeur, D.J. Kriegman // Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on (Volume:23, Issue: 6), 2001. - Pages 643 – 660
4. Chutorian, E. Head Pose Estimation for Driver Assistance Systems / E. Chutorian, M.Trivedi // Proc. 10th Int'l IEEE Conf. Intelligent Transportation Systems, 2007. - pp. 709-714
5. Sommer, G. Pose estimation using geometric constraints / G. Sommer, B. Rosenhahn, Y. Zhang // in Multi-Image Search and Analysis, R. Klette, Th. Huang, and G. Gimmelfarb (Eds.), LNCS 2032, Springer-Verlag, Heidelberg, 2001. - pp. 153–170.
6. Xiang, Y. Estimating the aspect layout of object categories. / Y. Xiang, S. Savarese. - In CVPR, 2012.
7. Murphy-Chutorian E. Head pose estimation in computer vision: a survey / E. Murphy-Chutorian, M.M. Trivedi // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 31 (4) (2009) 607–626.

Аспирант **Баринов А.Е.** – alexey.barinov.murom@yandex.ru; к.т.н. **Захаров А.А.** – aa-zaharov@yandex.ru - Владимирский Государственный Университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

УДК 620.178.4/6

ТРЕХМЕРНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗУБА И ПЛОМБЫ

Е.Ю. Шелковников, А.И. Кириллов, С.М. Ефремов, Т.Л. Рединова,
А.А. Тимофеев, Т.Ю. Метелева

В работе рассмотрены вопросы трехмерного моделирования напряженно-деформированного состояния зуба и пломбы методом конечных элементов. Разработано программное обеспечение в среде Delphi 7 для вычисления коэффициентов концентрации напряжений в соединении зуб-пломба. Показано, что в эмали зуба происходит концентрация напряжений, а дентин «экранирован» от нее эмалью.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, трехмерная модель, зуб с пломбой, дентин, эмаль

Введение

Возникновение собственных напряжений в зубе после реставрации кариозных полостей приводит к образованию трещин дентина и эмали, нарушению краевого прилегания пломбы, рассасыванию и выпадению пломбировочного материала. Это обуславливает необходимость изучения соотношения механических свойств пломбировочного материала и зуба для обеспечения их надежного и долговечного соединения [1].

Теоретические исследования надежности пломбирования необходимо проводить на математической модели механического поведения зуба с пломбой при воздействии жевательного усилия [2].

Постановка задачи

Такие исследования целесообразно выполнять на трехмерной модели с использованием метода конечных элементов (КЭ) [3], так как большинство реальных объектов невозможно упростить до плоской задачи (например, зуб с ограниченной по глубине пломбой и др.). Необходимо отметить, что при построении сетки КЭ узлы сетки размещаются как на поверхности модели, так и внутри нее. Для построения такой сетки и мо-

делирования напряженно-деформированного состояния объекта применяется программная система КЭ-анализа Ansys Mechanical.

На начальном этапе моделирования рассматривается упругий деформируемый зуб с пломбой при статическом нагружении равномерно распределенным жевательным усилием P (рисунок 1). Модель зуба имеет форму куба с ребром a и содержит сквозное цилиндрическое упругое включение диаметром d . В однородном теле при подобном нагружении возникает в направлении оси Y сжимающее номинальное напряжение:

$$\sigma_{НОМ} = \frac{P}{a^2}. \quad (1)$$

Другие напряжения в такой модели отсутствуют или пренебрежимо малы. Однако применение этой формулы для определения механического напряжения ограничено случаем, когда упругие свойства материала включения и основного материала совпадают [4].

В случае, когда упругие характеристики материала включения отличаются от упругих характеристик основного материала, напряжения распределяются неравномерно и мо-

ТРЕХМЕРНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗУБА И ПЛОМБЫ

жет возникать как увеличение, так и уменьшение напряжения относительно номинального:

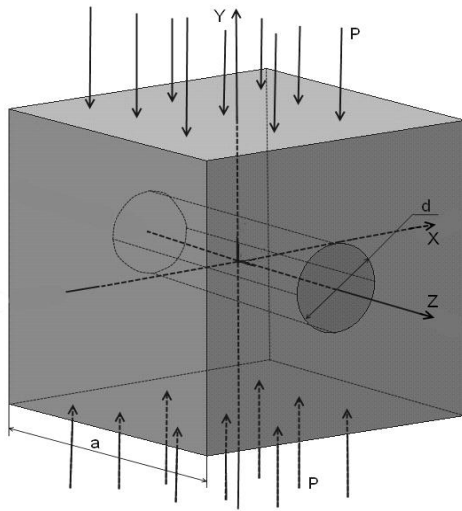


Рисунок 1 – Расчетная модель зуба с пломбой

$$\sigma_i = \alpha_i \cdot \sigma_{НОМ}, \quad (2)$$

где σ_i – напряжение в i -ой точке материала; α_i – коэффициент концентрации напряжений для i -ой точки; $i = 0, 1, 2, \dots$. Коэффициент α_i позволяет сравнивать напряжения в материале при разных параметрах самих материалов (модуль Юнга, коэффициент Пуассона и др.). Целесообразно его нахождение с применением численных методов (например, метода КЭ) для исследования напряженно-деформированного зуба, состоящего из разнородных материалов (например, основы – зуба и включения – пломбы, соединения эмаль-дентин и др.) [1].

Результаты и их обсуждение

При использовании свойства симметрии объемное тело сводится к 1/8 объема (рисунок 2). При этом предусматриваются следующие условия закрепления модели: в плоскости XOY запрещаются перемещения в направлении оси Z , в плоскости XOZ – перемещения в направлении оси Y , в плоскости YOZ – перемещения в направлении оси X .

К верхней грани приложено постоянное усилие 100Н. В таблице 1 приведены параметры упругого деформируемого зуба, необходимые для моделирования его напряженно-деформируемого состояния [3].
Таблица 1 – параметры упругого деформируемого зуба.

Материал	Дентин	Эмаль
Характеристики		
Модуль Юнга, ГПа	14,7	94
Коэффициент Пуассона	0,31	0,33

Для вычисления коэффициентов концентрации разработано программное обеспечение (ПО) в среде Delphi 7, интерфейс которого представлен на рисунке 3. Оно работает следующим образом. Сначала указываются три файла с данными, которые сформированы в программной системе Ansys Mechanical. Это файл с координатами узлов, файл с номинальными напряжениями в узлах и файл с напряжениями, которые необходимо сравнить с номинальными (т.е. действительными).

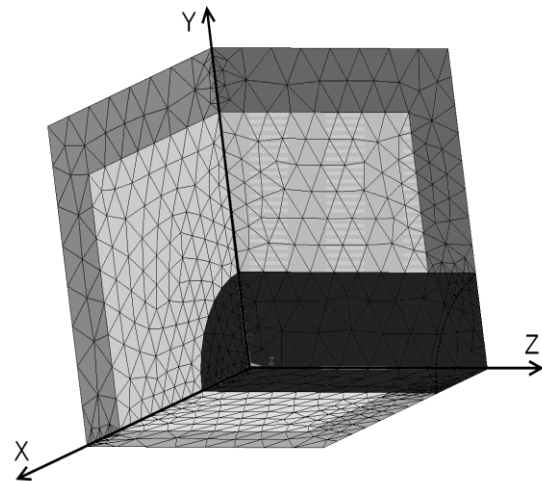


Рисунок 2 – Упрощенная расчетная модель зуба с эмалью и с сеткой

Затем необходимо:

- выбрать необходимое напряжение ($S1, S2, S3, Sint, Seqv$);
- указать номер материала (1 – дентин, 2 – эмаль, 3 – пломбировочный материал);
- выбрать плоскость с узлами (XY, XZ, YZ);
- указать граничные условия по всем трем координатам X, Y и Z для отображения выбранных узлов.

После выполнения этих действий программа выводит эпюру отношений действительного напряжения к номинальному только для тех узлов, которые соответствуют граничным условиям в плоскостях симметрии.

При моделировании рассмотрено влияние эмали на напряженно-деформированное состояние при следующих параметрах:

- ♦ $E_{пл} = 0,72 \text{ Ед} (-28\%)$;
- ♦ $E_{пл} = E_{д}$;
- ♦ $E_{пл} = 1,28 \text{ Ед} (+28\%)$.

Эмаль покрывает зуб толщиной 1 мм, при этом размеры дентина уменьшены на 1 мм по всем граням. Такая модель также сводится к моделированию 1/8 объема. Механические характеристики для эмали взяты из таблицы 1.

РАЗДЕЛ 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

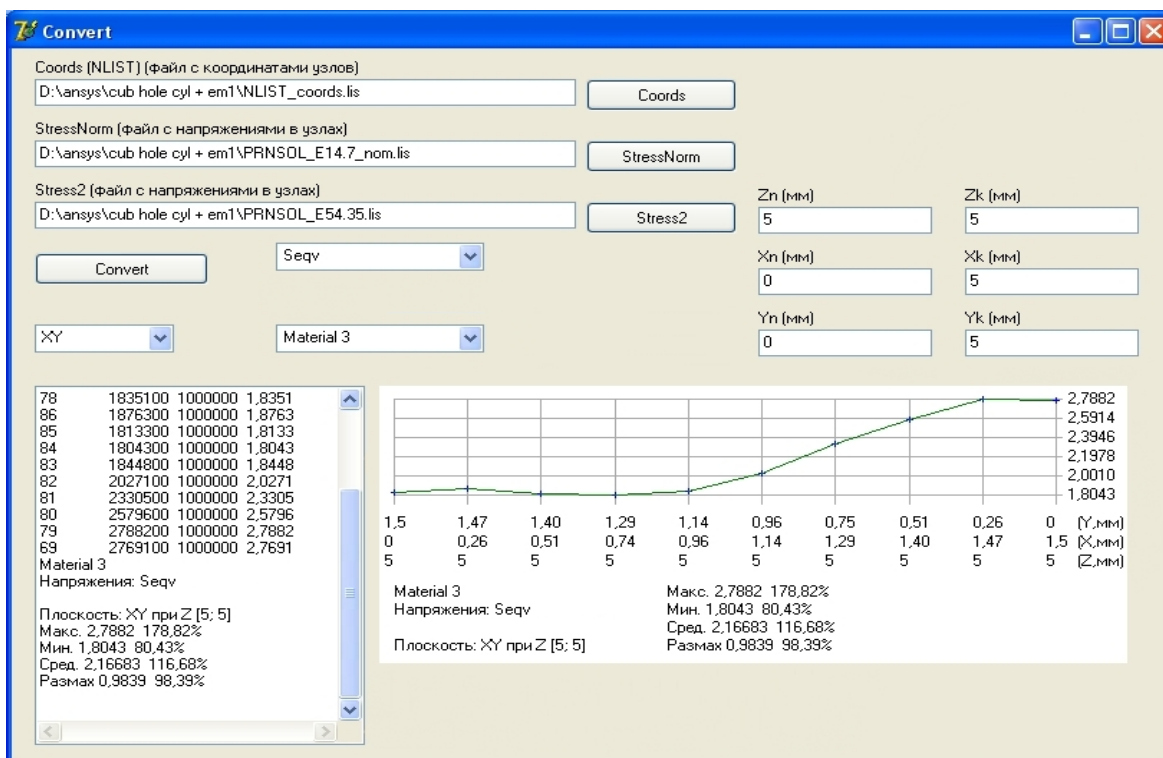


Рисунок 3 – Интерфейс программы

При рассмотрении границы зуб-пломба на поверхности модели (плоскость XY при Z = 5 мм) получены графики зависимости максимального относительного напряжения от отношения модулей упругости Епл к Ед (рисунки 4,5) для случаев с эмалью и без эмали.

Анализ графиков показывает, что в эмали зуба резко увеличивается концентрация напряжений (рисунок 4) по сравнению со случаем без эмали. При этом в пломбе относительные напряжения уменьшаются (рисунок 5). Это связано с тем, что модуль упругости эмали Еэ больше Ед в несколько раз и происходит перераспределение относительных напряжений в эмаль зуба (причем резкое увеличение происходит на краю цилиндрического включения (рисунок 4)).

На рисунке 6 приведены графики зависимости относительного максимального (плоскость XY при Z=0) напряжения в дентине на границе пломба-дентин от отношения модулей упругости с эмалью и без эмали.

При этом за счет перераспределения (также, как и в пломбе (рисунок 5)) в дентине уменьшаются относительные напряжения.

Для эмали (плоскость XY при Z = 5 мм), внешней части пломбы (плоскость XY при Z = 5 мм), пломбы внутри дентина (плоскость XY при Z = 0), дентина (плоскость XY при Z = 0) построены графики зависимости относитель-

ного максимального напряжения при следующих параметрах: Епл = Ед (рисунок 7); Епл = (Ед + Еэ) / 2 (рисунок 8); 3) Епл = Еэ.

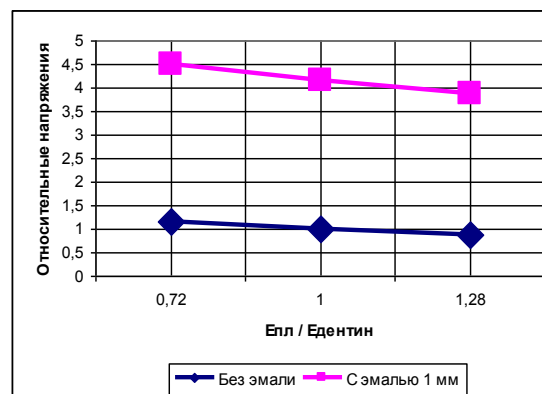


Рисунок 4 - Изменения относительного максимального напряжения эмали в зависимости от отношения модулей упругости с эмалью и без эмали

Как следует из рисунка 9, при увеличении модуля упругости пломбы относительные напряжения перераспределяются: уменьшаются для эмали и дентина и увеличиваются для пломбы. Для внешней части пломбы относительные напряжения больше, чем для внутренней части, поскольку эмаль оказывает большее влияние, чем дентин.

ТРЕХМЕРНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗУБА И ПЛОМБЫ

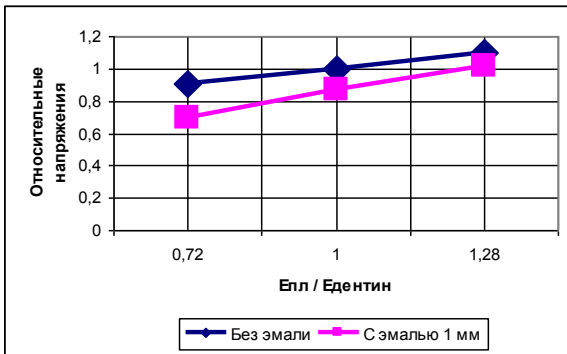


Рисунок 5 - Изменения относительного максимального напряжения в пломбе в зависимости от отношения модулей упругости с эмалью и без эмали

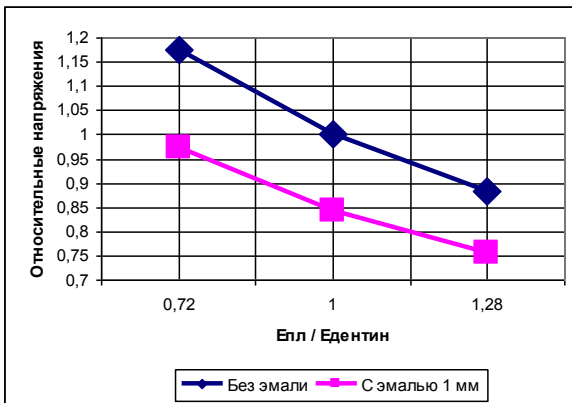


Рисунок 6 - Изменения относительного максимального напряжения в дентине в зависимости от отношения модулей упругости с эмалью и без эмали

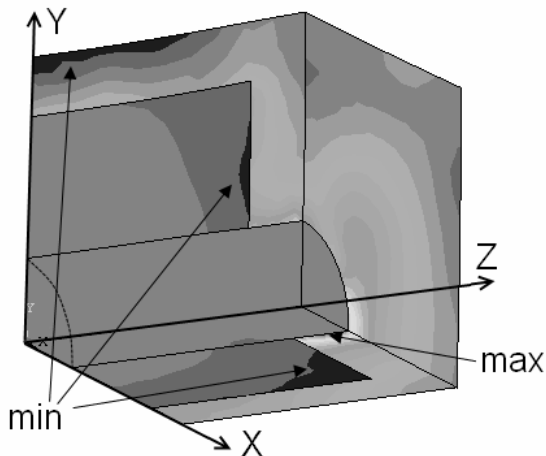


Рисунок 7 – Напряженно-деформированное состояние 1/8 объема модели зуба ($E_{пл} = E_d$)

В заключение необходимо отметить следующее. Исследования напряженно-деформированного состояния зуба с пломбой целесообразно выполнять на его трехмерной модели. При этом необходимо учитывать

наличие эмали, в которой происходит концентрация напряжений. Результаты моделирования показали, что средняя часть цилиндрического включения в эмали (и дентине) в меньшей степени влияет на разрушение зуба, чем ее крайние области. Дентин, находящийся под эмалью экранирован от концентраций напряжений (так как эмаль является более жесткой, чем дентин).

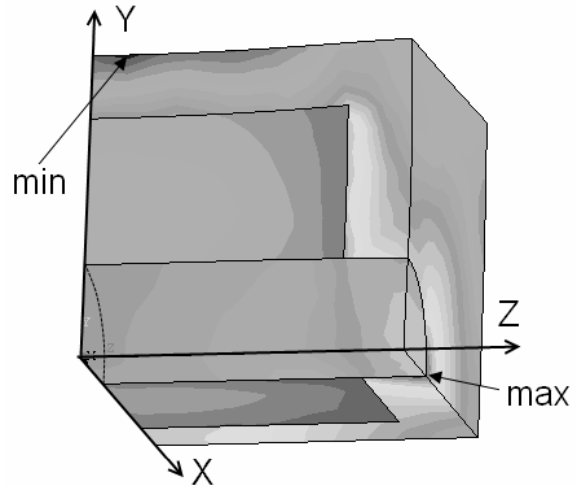


Рисунок 8 – Напряженно-деформированное состояние 1/8 объема модели зуба ($E_{пл} = (E_d + E_э) / 2$)

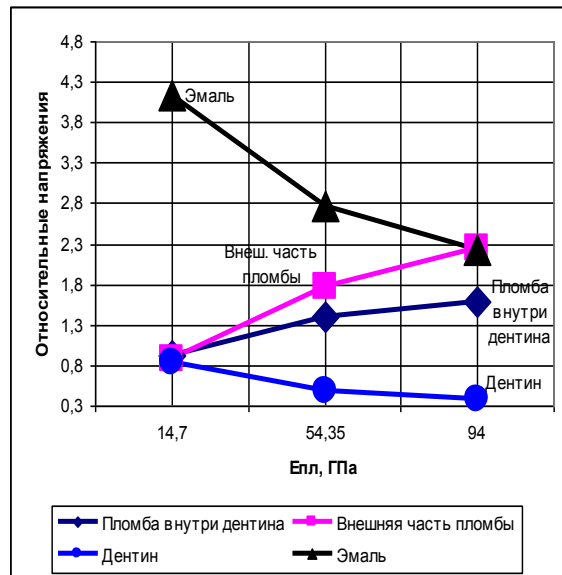


Рисунок 9 – Изменения относительного напряжения в материалах (эмаль, пломба в эмали, пломба в дентине, дентин) в зависимости от модуля упругости пломбы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наймушин, Ю.Н. Устройство для прочностных испытаний пломбировочных материалов и пломб дефектных зубов / Ю.Н. Наймушин [и др.] // Патент РФ на полезную модель №114843; опубл. 20.04.2012, бюл. №11.

РАЗДЕЛ 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

2. Ефремов, М.С. Моделирование напряженного состояния зуба после реставрации кариозных полостей [Текст] / М.С. Ефремов [и др.] // Ползуновский альманах. – Барнаул: АлтГТУ, 2008. – №2 – С. 162-164.
3. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 539с.
4. Наймушин, Ю.Н. Моделирование напряженно-деформированного состояния зуба и пломбы с учетом их эмпирических деформационных характеристик [Текст] / Ю.Н. Наймушин, [и др.] // Вестник ИжГТУ. – 2010. – №2. – С.79-83.
5. Ремизов, С.М. Микромеханические характеристики реставрационных стоматологических материалов, эмали и дентина зубов человека [Текст] / С.М. Ремизов // Стоматология. – 2001 – №4 – С. 28-32.

Д.т.н., зав. лаб. Шелковников Е.Ю., м.н.с. Кириллов А.И. – Институт механики УрО РАН, iit@udman.ru; к.т.н., доц. Ефремов С.М. – Ижевский Государственный технический университет, efsemi@mail.ru; д.м.н., проф. Рединова Т.Л., аспирант Тимофеев А.А., аспирант Метелева Т.Ю. – Ижевская медицинская академия, (3412)425488, dimitu@deikin.ru

УДК 519.722

ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД УНИВЕРСАЛЬНОГО КОМБИНАТОРНОГО КОДИРОВАНИЯ

М.П. Бакулина

В данной работе рассматривается задача построения и реализации эффективного метода комбинаторного универсального кодирования, т.е. метода кодирования при неизвестной статистике сообщений. Приводятся экспериментальные результаты работы данного алгоритма, как для построенного префикса, так и для префикса, обеспечивающего минимальную избыточность.

Ключевые слова: универсальное кодирование, комбинаторный код, избыточность, энтропия

Введение

Задача эффективного кодирования источников является одной из центральных в теории информации, что объясняется ее теоретической важностью и многочисленными практическими приложениями к сжатию данных самой различной природы.

Комбинаторное кодирование, названное так по аналогии с арифметическим кодированием, использует статистику исходных данных, и является разновидностью статистических (энтропийных) методов сжатия информации. К таким методам также относятся арифметическое кодирование, и ряд методов Хаффмана других методов.

Суть комбинаторного метода заключается в том, что из известного алфавита и таблицы частот можно сформировать строго определенное число различных последовательностей данных. Поэтому каждой последовательности данных ставится в соответствие строго определенный (комбинаторный) номер (код) и наоборот, каждому комбинаторному номеру строго определенная последовательность данных.

Рассматриваются задачи кодирования источников с известной и неизвестной статистикой. Методы, предназначенные для кодирования источников с известной статистической структурой, называются статистическими (неадаптивными) методами. Однако

наиболее важной и сложной является задача построения кодов с неизвестной статистикой источника. Такие коды называются универсальными кодами.

Возможность построения универсальной схемы комбинаторного кодирования и доказательство простоты ее реализации были впервые описаны В.Ф. Бабкиным [1]. Исследованию универсальных комбинаторных кодов посвящены также работы [2], [3].

В данной работе рассматривается задача построения и реализации эффективного метода комбинаторного универсального кодирования, т.е. метода кодирования при неизвестной статистике сообщений. Приводятся экспериментальные результаты работы данного алгоритма.

Алгоритм комбинаторного универсального кодирования. Предположим, что алфавит состоит из двух букв a_1 и a_2 , появляющихся независимо с вероятностями $p, q = 1 - p$, но величина p заранее неизвестна. Требуется построить код, для которого среднее число символов 0 и 1 на одну букву алфавита приближалось бы к энтропии источника при любом $p < 1$.

Построение кода начнем с разбиения множества всех блоков длины n в алфавите A на группы, которые имеют одинаковые