

АНАЛИЗ ДАННЫХ И СИГНАЛОВ

(Вычислительные системы)

1998 год

Выпуск 163

УДК 519.767.6

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАРЬИРОВАНИЯ ПЕСЕННЫХ МЕЛОДИЙ НА МИКРО- И МАКРОУРОВНЕ ¹

И.В. Бахмутова, В.Д. Гусев, Л.А. Немытикова,
Т.Н. Титкова

В в е д е н и е

Варьирование является одним из важнейших компонентов творческой деятельности [1]. Особенно весом этот компонент в музыкальном творчестве, поскольку музыкальные произведения обычно строятся по принципу "варьированной повторности" [2]. Под *варьированным повтором* будем понимать пару фрагментов музыкального текста, близких в смысле *редакционного расстояния* [3]. По нашим оценкам не менее половины всех повторов в музыкальных текстах реализуются в варьированной форме. Использование варьированных повторов обогащает мелодию и способствует развитию музыкальной темы.

Способы варьирования мелодии в целом и отдельных ее фрагментов существенно отличаются. Первый случай будем характеризовать как варьирование на *макроуровне* (или "глобальное"), второй — как варьирование на *микроуровне* (или "локальное"). Варьирование на микроуровне реализуется с помощью операций над одиночными символами (замены, вставки, перестановки) и

¹Работа выполнена в рамках пректа № 96-06-80576, поддержанного Российским фондом фундаментальных исследований.

обычно не приводит к существенному изменению длины варьируемого фрагмента. Варьирование на макроуровне затрагивает сразу группы (блоки) символов (блочные замены, вставки, дубликации и т.п.) и может привести к существенному изменению длины мелодии, например, в результате увеличения или уменьшения числа повторений какого-либо интонационного оборота.

Объектом изучения в данной работе являются *народные песни*, дифференцированные по *национальной принадлежности* (русские, французские, американские). *Целью работы* является исследование *количественных и качественных* характеристик варьирования песенных мелодий на микро- и макроуровне.

От традиционных исследований искусствоведческого плана данная работа отличается своей количественной направленностью. Анализируются не только (а, возможно, не столько) конкретные приемы варьирования, сколько частота их использования в реальной песенной практике. Такого рода анализ не может быть выполнен вручную и требует привлечения компьютера. Количественные характеристики варьирования могут быть использованы для *классификации* мелодий (по стилю, жанру, композитору и т.п.). Аналогом варьирования в других языковых системах выступают эволюционные процессы (генетический язык [4]), механизмы порождения ошибок (естественный язык [5]) и т.п. Количественный анализ этих явлений имеет большое прикладное значение.

Данная работа продолжает и развивает исследования, начатые нами в [6]. Отличие от [6] состоит в существенном расширении множества исследуемых редакционных операций, введении микро- и макроуровня, значительном увеличении объема исходных данных и дифференциации мелодий по национальной принадлежности.

1. Исходные определения и обозначения

Формальную основу для изучения характеристик локального варьирования дают *несовершенные* (или *варьируемые*) повторы, выявляемые в песенных мелодиях. Таковыми можно считать произвольные фрагменты музыкального текста, близкие в определенном смысле и удовлетворяющие некоторым естественным

ограничениям. В качестве меры близости в [6] использовалось хэммингово расстояние. Оно определяется для символьных цепочек одинаковой длины и равно числу синхронных позиций в этих цепочках с несовпадающими элементами. Если u и v — сравниваемые цепочки, а $h(u, v)$ — хэммингово расстояние между ними, то u может быть переведена в v с использованием одних лишь операций замен (число их равно $h(u, v)$).

В общем случае цепочки u и v могут иметь разную длину. Чтобы иметь возможность перевести u в v , множество допустимых (редакционных) операций следует расширить. Обычно рассматривают совокупность из трех операций: вставка, замена и удаление символа. Пусть λ — пустой символ. Введем для стоимостей редакционных операций следующие обозначения:

- $\gamma(a_i \rightarrow \lambda)$ — стоимость удаления символа a_i ;
- $\gamma(\lambda \rightarrow b_j)$ — стоимость вставки символа b_j ;
- $\gamma(a_i \rightarrow b_j)$ — стоимость замены символа a_i на b_j .

Если $S = (s_1, s_2, \dots, s_k)$ — последовательность элементарных редакционных операций, то ее стоимость $\gamma(S) = \sum_i \gamma(s_i)$. Редакционное расстояние между цепочками u и v [3] — это стоимость оптимального перевода одной цепочки в другую с использованием указанного набора допустимых операций, т.е. величина

$$d(u, v) = \min_{S: u \rightarrow v} \gamma(S). \quad (*)$$

В простейшем случае (при единичных стоимостях) редакционное расстояние есть наименьшее число операций типа “вставка”, “замена” или “удаление” символа, переводящих одну последовательность в другую. В дальнейшем будем пользоваться именно этим (простейшим) определением, поскольку стоимости редакционных операций априори неизвестны.

Несовершенным (или варьированным) повтором будем называть пару цепочек u и v таких, что:

$$0 < d(u, v) \leq k, \quad k \text{ — целое число}; \quad (1)$$

$$k \ll \min(|u|, |v|), \text{ где } |x| \text{ — длина цепочки } x. \quad (2)$$

Ограничение (2) означает, что расстояние между u и v невелико, что, собственно, и позволяет назвать пару (u, v) несовершенным *повтором*. Поскольку при небольших длинах u и v это условие не выполняется, целесообразно ввести ограничение снизу на длину повтора:

$$\min(|u|, |v|) \geq L, \quad (3)$$

где L — порог, выбираемый таким образом, чтобы отсечь цепочки, близость которых носит случайный характер. Ориентиром может служить оценка длины максимального повтора в случайной последовательности [7]:

$$L_{\max} \sim \frac{2 \ln N}{\left| \ln \sum_{r=1}^n p_r^2 \right|},$$

где N — длина последовательности, n — размер алфавита, $p_r, 1 \leq r \leq n$, — вероятности появления элементов алфавита.

Базой для отыскания несовершенных повторов является подборка музыкальных текстов (песен) $T = \{T_1, T_2, \dots, T_M\}$, где M — объем подборки (число мелодий). Будем различать несовершенные *повторы 1-го рода*, образуемые цепочками u, v , такими, что $(u, v) \in T_i, 1 \leq i \leq M$, и *повторы 2-го рода*, образуемые парами u, v , такими, что $u \in T_i, v \in T_j, i \neq j$. Иными словами, в первом случае речь идет о повторах внутри одной мелодии, во втором — о повторах в разных мелодиях. Подборки T , дифференцированные по национальной принадлежности, будем обозначать T_r, T_a, T_f (русские, американские, французские песни соответственно). Полную совокупность несовершенных повторов, выделяемых в подборке T , обозначим через $\Phi_{L,k}(T)$ (соответственно для повторов 1-го и 2-го рода используем обозначения $\Phi_{L,k}^1(T)$ и $\Phi_{L,k}^2(T)$).

Каждый повтор из $\Phi_{L,k}(T)$ характеризуется конкретным набором редакционных операций, в котором зафиксированы типы замен ("что" на "что" заменяется), вставок (какой элемент вставляется) и делеций. Среди всевозможных типов замен, вставок и делеций, фиксируемых в разных повторах, будут повторяющиеся. Частоты встречаемости разных типов замен, вставок и (в общем

случае) других редакционных операций назовем *количественными характеристиками варьирования*. Важно отметить, что именно на основе этих характеристик могут быть получены достаточно корректные *оценки стоимостей* $\gamma(a_i \rightarrow b_j)$, $\gamma(a_i \rightarrow \lambda)$ и $\gamma(\lambda \rightarrow b_j)$ редакционных операций. В случае замен, к примеру, наименьшей стоимостью будут обладать наиболее часто используемые типы замен (элементы тем ближе, чем чаще они заменяются друг на друга в фиксированном контексте). Возможность оценивания стоимостей редакционных операций по статистикам замен, вставок и делеций составляет важный прикладной аспект данной работы, поскольку редакционное расстояние, представленное в форме (*), наиболее адекватно отражает степень близости двух цепочек.

Цепочки, составляющие несовершенный повтор, могут быть переведены друг в друга с использованием не более чем "*k*" редакционных операций. Для выявления типа этих операций цепочки удобно представлять в виде *выравнивания*. При этом цепочки записываются одна над другой, а между их элементами устанавливаются следующие соответствия:

- совпавшие (т.е. не затрагиваемые редакционными операциями) элементы располагаются друг под другом и соединяются знаком равенства (две вертикальные черты);

- попарно заменяемые элементы также располагаются друг под другом, но не соединяются знаком равенства;

- вставляемые или удаляемые элементы не имеют аналогов во второй строке — им соответствует пробел.

ПРИМЕР.

$$\begin{array}{cccccccccccccccc}
 u: & 1 & + & 2 & + & - & & & 4 & - & + & 1 & - & - & 1 & + & + & & 1 & + & - & 2 & + & - & 1 & + & 2 & - & - \\
 & & & \parallel & & \parallel & & & & & \parallel & & \parallel & & & & & & & & \parallel & & \parallel & & \parallel & & \parallel & & \parallel \\
 v: & 1 & + & 2 & + & - & & 0 & + & + & 4 & - & + & 1 & - & - & 2 & + & + & & & & 2 & + & - & 1 & + & 2 & - & -
 \end{array}$$

Если мы переводим *u* в *v*, следует заменить (1 + +) на (2 + +), вставить (0 + +) в 3-ю позицию "и" и устранить (1 + -) в 6-й позиции. Если переводим "*v*" в "*u*", следует заменить (2 + +) на (1 + +), устранить (0 + +) и вставить (1 + -). В дальнейшем для простоты не будем делать различий между операциями вставки и устранения, если речь идет об одном и том же элементе.

Музыкальные тексты по своей природе являются многомерными, поскольку каждый звук характеризуется высотой, длительностью и относительной силой. Анализировать вариативность по всем трем измерениям одновременно — довольно затруднительно. Следуя Р.Х.Зарипову [1], мы будем представлять музыкальные тексты в виде интервально-метрических (или *IS*-) характеристик. Детали представления описаны в другой нашей статье из данного сборника [8]. Здесь лишь укажем, что текст T_i , состоящий из N_i нот, заменяется цепочкой из $(N_i - 1)$ *IS*-кодов. *IS*-код, стоящий в k -й позиции, $1 \leq k \leq N_i - 1$, задает переход от k -й к $(k + 1)$ -й ноте и представлен тройкой: $|I_k|$ — величина k -го интервала, равная числу ступеней между высотами k -го и $(k + 1)$ -го звуков мелодии; знак I_k (“+” соответствует восходящему движению звуковысотной линии, “—” — нисходящему); S_k — элемент метрической характеристики, принимающий одно из двух значений: “+” означает переход от сильного звука к слабому, “—” — наоборот. Таким образом, код (4 — —), к примеру, трактуется как скачок вниз на 4 ступени с одновременным усилением звука.

Используемое описание обеспечивает, на наш взгляд, желательный компромисс между двумя противоречивыми требованиями. С одной стороны, оно достаточно полно, так что мелодия не утрачивает своей индивидуальности, остается узнаваемой; с другой стороны, оно не слишком детально. В частности, *IS*-представление инвариантно к секвентным переносам, игнорирует качественную (тоновую) характеристику интервала и не учитывает длительностей звуков.

2. Описание алгоритма и эксперимента

Отдельно анализировались подборки T_p , T_f и T_a — соответственно русских (219 мелодий), французских (338 мелодий) и американских (140 мелодий) народных песен, компилированные из разных источников. Суммарная длина первой подборки составила $N_p = 9197$ символов, второй — $N_f = 18641$, третьей — $N_a = 7779$ (каждый символ — триплет, соответствующий *IS*-коду). Каждая подборка содержала песни разных жанров.

Для выявления несовершенных повторов в общем случае используется алгоритм динамического программирования с трудоемкостью $O(N^2)$, где N — длина анализируемой последовательности. Это приемлемо для отыскания повторов 1-го рода, когда N — длина конкретной мелодии (суммарные затраты не превышают по порядку величины $M \cdot N_{\max}^2$, где M — число мелодий в подборке, $N_{\max} = \max_i N_i$ — длина максимальной мелодии). Однако в случае повторов 2-го рода затраты намного выше и составляют $O((\sum_i N_i)^2)$ (оценкой сверху может служить величина $M^2 \cdot N_{\max}^2$).

Ввиду этого мы использовали для отыскания повторов более простую процедуру, основанную на малости параметра " k " по сравнению с длиной повтора (см. условие (2) из определения несовершенного повтора). Идея заключается в том, что если цепочка u отличается от v не более чем " k " искажениями (в виде замен, вставок), то при любом варианте расстановки этих искажений существует гарантированно неискажаемая общая подцепочка цепочек u и v , тем большая, чем меньше " k " по сравнению с $|u|$ и $|v|$. К примеру, если u и v отличаются только заменами, $|u| = |v| = L = 9$ и $k = 2$, то максимальная общая подцепочка (ядро) z имеет длину $|z| = 3$.

Алгоритм отыскания (L, k) -повторов в тексте T выглядит тогда следующим образом. По заданным параметрам L (длина повтора) и k (допустимое число искажений) определяется размер максимального гарантированно неискажаемого ядра $|z|$. В тексте T отыскиваются всевозможные точные повторы длины $|z|$. Каждая пара совпавших фрагментов такой длины затем расширяется (по тексту) в обе стороны (не более чем на $(L - |z|)$ символов) с целью выявления несовпадений. Если таковых набирается больше, чем k , повтор не обнаружен (это наиболее частый случай). В противном случае фиксируется $(L, \leq k)$ -повтор. Подобная стратегия оказывается весьма эффективной. Она подробно описана в [9].

В проводившихся экспериментах использовались следующие комбинации параметров L и k : для повторов 1-го рода — (6, 1), (9, 2), (12, 3), (16, 4); для повторов 2-го рода — те же самые за исключением (6, 1), поскольку при сравнении разных мелодий

столь короткие повторы часто носят случайный характер. Если какая-либо конкретная замена (или вставка) встречалась внутри мелодии многократно, она учитывалась всего один раз. Замены и вставки, приходящиеся на края сравниваемых фрагментов, не принимались во внимание, т.е. учитывались только "внутренние искажения".

Для упрощения анализа при указанных выше комбинациях параметров L и k были проведены три серии экспериментов, в каждой из которых множество редакционных операций сужалось до минимума. В первой серии экспериментов допускались только замены, во второй — только вставки, в третьей — "блочные замены", т.е. замены одного элемента цепочкой (блоком) из нескольких (обычно не более 4) элементов. Операции последнего типа в большей степени характерны для варьирования на макроуровне.

Наряду с подсчетом числа и разновидностей замен, вставок, анализировались места их расположения внутри сравниваемых фрагментов, чтобы оценить степень кластеризуемости искажений. С этой целью фиксировались тандемно расположенные замены, вставки и для них набиралась отдельная статистика.

3. Количественные характеристики локального варьирования

Суммарное число замен, вставок, блочных подстановок, зафиксированное в каждой серии экспериментов, весьма велико (даже без учета кратности появления их в мелодии). Это число коррелирует с объемом подборок. Наиболее распространенные разновидности одиночных замен и вставок встречаются по несколько десятков раз. Поскольку объемы подборок T_p , T_a и T_f различны, мы не будем приводить абсолютные частоты встречаемости конкретных редакционных операций, а ограничимся лишь указанием рангов, т.е. мест, занимаемых ими в частотном упорядочении (по убыванию).

3.1. *Статистика одиночных замен.* В табл. 1 приведены наиболее часто используемые виды замен в повторах 1-го рода для каждой из трех подборок. Запись типа $(1 + -) \leftrightarrow \leftrightarrow (0 + -)$ означает, что в данной подборке существует мелодия (как правило, не одна), содержащая (L, k) -повтор с указанной

Таблица 1

Статистика наиболее часто используемых
замен в повторах 1-го рода.

Ранг (r)	T _a (амер.)	T _ф (франц.)	T _p (русс.)
	Тип замены	Тип замены	Тип замены
1	(1 - -) ↔ (1 + -)	(1 - -) ↔ (1 + -)	(1 - -) ↔ (1 + -)
2	(0 + -) ↔ (0 + +)	(1 - +) ↔ (0 + +)	(1 - +) ↔ (1 + +)
3	(1 + -) ↔ (0 + -)	(1 - +) ↔ (1 + +)	(2 + +) ↔ (0 + +)
4	(1 + +) ↔ (0 + +)	(1 + +) ↔ (0 + +)	(3 - -) ↔ (1 - -)
5	(1 - +) ↔ (0 + +)	(2 + +) ↔ (0 + +)	(2 + +) ↔ (1 - +)
6	(2 + +) ↔ (0 + +)	(1 - -) ↔ (0 + -)	(3 + -) ↔ (1 - -)
7	(1 - -) ↔ (0 + -)	(2 + +) ↔ (1 + +)	(2 + -) ↔ (0 + -)
8	(2 - +) ↔ (1 - +)	(2 - +) ↔ (0 + +)	(1 - +) ↔ (0 + +)
9	(2 - +) ↔ (2 + +)	(1 + -) ↔ (0 + -)	(1 + +) ↔ (0 + +)
10	(2 + -) ↔ (0 + -)	(3 + -) ↔ (1 + -)	(3 + -) ↔ (1 + -)
11	(3 - +) ↔ (0 + +)	(2 + -) ↔ (1 + -)	(2 - +) ↔ (2 + +)
12	(2 - -) ↔ (1 - -)	(1 - -) ↔ (1 - +)	(4 + -) ↔ (1 - -)
13	(2 - +) ↔ (0 + +)	(2 - -) ↔ (1 - -)	(2 - -) ↔ (1 - -)
14	(1 - +) ↔ (1 + +)	(2 - +) ↔ (1 - +)	(2 - +) ↔ (0 + +)
15	(3 - -) ↔ (1 - -)	(2 + -) ↔ (1 - -)	(2 - +) ↔ (1 + +)
16	(3 + -) ↔ (1 + -)	(3 + -) ↔ (1 - -)	(1 - -) ↔ (1 - +)
17	(2 + +) ↔ (1 + +)	(2 - -) ↔ (1 + -)	(1 - -) ↔ (0 + -)
18	(1 - -) ↔ (1 + +)	(2 + +) ↔ (1 - +)	(1 + -) ↔ (0 + -)
19	(1 + -) ↔ (0 + +)	(2 - +) ↔ (2 + +)	(5 + -) ↔ (3 + -)
20	(4 - +) ↔ (0 + +)	(0 + -) ↔ (0 + +)	(4 + -) ↔ (0 + -)
21	(3 - -) ↔ (1 + -)	(3 - +) ↔ (0 + +)	(4 + +) ↔ (0 + +)
22	(3 + -) ↔ (2 + -)	(3 + -) ↔ (0 + -)	(3 - -) ↔ (1 + -)
23	(3 + -) ↔ (0 + -)	(1 + -) ↔ (0 + +)	(3 + -) ↔ (0 + -)
24	(3 + +) ↔ (2 + +)	(4 - +) ↔ (2 - +)	(2 - -) ↔ (1 + -)
25	(2 - -) ↔ (2 + -)	(2 - +) ↔ (1 + +)	(2 - +) ↔ (1 - +)

парой кодов в одной из тех позиций, где зафиксировано несовпадение (один из кодов заменяется другим).

Анализ статистики одиночных замен, позволяет сделать следующие выводы.

1. Количество разновидностей замен, представленных в каждой из подборок в первую очередь определяется их объемом (максимальное — в T_Φ), а уж затем — национальной спецификой (минимальное — в T_p). В русской подборке выявлено 88 разновидностей замен, в американской — 99 (хотя её объем меньше), во французской — 154. Около половины всех замен в каждой подборке встретились по разу. Наиболее частая во всех подборках замена $(1 - -) \leftrightarrow (1 + -)$ встретилась в T_p 26 раз, в T_a — 21 раз, в T_Φ — 48 раз (здесь частоты примерно отражают соотношение объемов подборок). Заметим, что потенциально возможное число замен равно $M_{IS} \cdot (M_{IS} - 1)/2$, где M_{IS} — размер алфавита IS -кодов. Поскольку параметр $|I|$ во всех подборках менялся в диапазоне от 0 до 9, имеем $M_{IS} = 10 \cdot 2 \cdot 2 - 2 = 38$ (при $I = 0$ существуют всего 2 варианта IS -кодов — $(0 + +)$ и $(0 + -)$ — вместо 4 при $I \neq 0$). Отсюда потенциальное разнообразие числа замен составляет величину порядка $7 \cdot 10^2$, т.е. в несколько раз превышает реальное разнообразие (многие замены не реализуются).

2. Наиболее часто используемые типы подстановок связаны:

а) с заменой нисходяще-восходящего движения *речитативным*

$((1 + -) \leftrightarrow (0 + -); (1 + +) \leftrightarrow (0 + +); (2 + +) \leftrightarrow (0 + +) \dots)$;

б) с *изменением направления* движения звуковысотной линии при сохранении абсолютной величины интервала и метрической характеристики

$((1 - -) \leftrightarrow (1 + -); (1 - +) \leftrightarrow (1 + +); (2 - +) \leftrightarrow (2 + +) \dots)$;

в) с *незначительным изменением величины интервала* при сохранении направления движения звуковысотной линии и метрических соотношений

$((2 - +) \leftrightarrow (1 - +); (2 + +) \leftrightarrow (1 + +); (3 + -) \leftrightarrow (1 + -) \dots)$.

3. Замены, связанные с изменением метрических соотношений, т.е. затрагивающие третью позицию в IS -коде, не фигури-

руют среди частых. В табл. 1, к примеру, таких всего 3 для T_a , 3 для T_ϕ и 1 для T_p . Это замены типа $(0 + -) \leftrightarrow (0 + +)$ и $(1 - -) \leftrightarrow (1 - +)$. В нижней (низкочастотной) части табл. 1, не приведенной в данной работе, число замен подобного типа растет, но большая их часть имеет частоту 1. Иными словами, они вносят ощутимый вклад в рост алфавита замен, но не их суммарного количества, определяемого частотой использования каждой замены. Доля таких замен в алфавите составляет 30% для T_a , 27% для T_ϕ и 16% для T_p , т.е. по данному показателю русские мелодии существенно отличаются от американских и французских.

4. Упорядочения, приведенные в табл. 1, коррелированы по типам используемых замен, однако проявляют себя и национально-специфические особенности. Для иллюстрации в табл. 1 взяты в рамку в каждом столбце замены, которые условно можно охарактеризовать как "национально-специфические". Так, замена $(0 + -) \leftrightarrow (0 + +)$ более всего характерна для американских песен. Она стоит на втором месте по частоте встречаемости в T_a , т.е. ранг ее $r_a = 2$. В T_ϕ эта замена имеет ранг $r_\phi = 20$, а в T_p — $r_p = 27$. Аналогичные показатели для других выделенных замен: $r_\phi((2 + -) \leftrightarrow (1 + -)) = 11$, $r_a = 35$, $r_p = 60$, т.е. эта замена характерна для французских песен; $r_p((3 - -) \leftrightarrow (1 - -)) = 4$, $r_a = 15$, $r_\phi = 87$ — характерна для русских песен; $r_p((4 + -) \leftrightarrow (1 - -)) = 12$, $r_\phi = 43$, $r_a > 100$ — также характерна для русских песен.

5. Статистики замен по повторам 2-го рода призваны как бы "оттенить" статистики, набранные по повторам 1-го рода, выявить среди них "случайные" замены. В целом оба типа статистик сильно коррелированы (по этой причине и ради экономии места статистика II не приводится). Отметим однако ряд исключений. Замены, существенно уменьшившие свой ранг (т.е. поднявшиеся кверху), можно отнести к разряду "избегаемых" ($r_\phi^I((1 - -) \leftrightarrow (0 + +)) = 50$, тогда как $r_\phi^{II}((1 - -) \leftrightarrow (0 + +)) = 18$; $r_\phi^I((1 - +) \leftrightarrow (0 + -)) > 100$, тогда как $r_\phi^{II}((1 - +) \leftrightarrow (0 + -)) = 34$; $r_p^I((3 + +) \leftrightarrow (2 + +)) > 88$ (т.е. не встретилась ни разу), тогда как $r_p^{II}((3 + +) \leftrightarrow (2 + +)) = 19$). Замены, увеличившие

свой ранг (т.е. опустившиеся вниз), значимы и специфичны ($r_A^I((0+ -) \leftrightarrow (0+ +)) = 2$, тогда как $r_A^{II}((0+ -) \leftrightarrow (0+ +)) = 8$; $r_P^I((2+ +) \leftrightarrow (0+ +)) = 3$, тогда как $r_P^{II}((2+ +) \leftrightarrow (0+ +)) = 11$; $r_\Phi^I((3+ -) \leftrightarrow (1+ -)) = 10$, тогда как $r_\Phi^{II}((3+ -) \leftrightarrow (1+ -)) = 25$).

3.2. *Тандемные замены.* Анализ расположения замен по длине фрагментов, образующих (L, k) -повторы со значениями $k \geq 2$, показывает, что замены обнаруживают тенденцию к *кластеризации*. Она проявляется в наличии тандемов длины 2, 3, ..., k из подряд следующих несовпадений. О неслучайности этого эффекта свидетельствует тот факт, что, например, при $k = 2$ примерно в половине случаев замены расположены рядом. Более того, тандемно расположенные замены демонстрируют специфические взаимосвязи, присущие только тандемам, но никак не одиночным заменам.

Тандемные замены анализировались по подборкам $(9, 2)$ -, $(12, 3)$ - и $(16, 4)$ -повторов 1-го рода.

В подборке T_P выявлено порядка 60 разновидностей тандемных замен с длиной тандема от 2 до 4, в подборке T_A — порядка 90, в T_Φ — порядка 220. С учетом различия длин подборок T_P , T_A и T_Φ (см. начало второго раздела) можно сказать, что *степень кластеризуемости замен в русских мелодиях* существенно ниже, чем в американских и французских.

Подавляющая часть тандемных замен встретилась в каждой из подборок *по одному разу*, что вполне естественно, поскольку потенциальное разнообразие таких замен имеет квадратичный порядок по отношению к разнообразию одиночных замен. Поэтому интерес представляет не статистика тандемных замен, а их классификация по типам взаимосвязей, обнаруживаемых у элементов тандема.

Ограничимся для простоты случаем двойных тандемов, составляющих большую часть в каждой подборке. Тандемную замену такого типа будем представлять в виде: $((I_1 S_1)(I_2 S_2)) \leftrightarrow ((I'_1 S'_1)(I'_2 S'_2))$. Формально ее можно рассматривать как конкатенацию одиночных замен $(I_1 S_1) \leftrightarrow (I'_1 S'_1)$ и $(I_2 S_2) \leftrightarrow (I'_2 S'_2)$, связанных определенными соотношениями.

Основные типы тандемных замен описываются следующими взаимосвязями:

1. $I_1 + I_2 = I'_1 + I'_2$; $S_1 = S'_1$, $S_2 = S'_2$. Эту взаимосвязь можно условно охарактеризовать как сохранение *баланса интервалов*. Разновидностями ее являются:

1а) *заполнение интервала*, когда скачок на какой-либо интервал заменяется двумя последовательными интервалами, сумма величин которых равна величине скачка: $((7-)(2++)) \leftrightarrow ((5-)(0++))$, $((5+)(0++)) \leftrightarrow ((3+)(2++))$ и т.п. В общем случае речь идет о разном заполнении одного и того же интервала: $((3+)(4-)) \leftrightarrow ((1+)(6-))$;

1б) *обострение или сглаживание* симметричного пика в мелодической линии, усиливающее или уменьшающее динамизм мелодии: $((3-)(3++)) \leftrightarrow ((1-)(1++))$, $((2-)(2++)) \leftrightarrow ((0-)(0++))$ и т.п.;

1в) движение к одному и тому же звуку путем *опевания* его сверху или снизу: $((4+)(3-)) \leftrightarrow ((2-)(3-))$, $((2-)(3-)) \leftrightarrow ((2+)(1-))$, $((4-)(2+)) \leftrightarrow ((3-)(5-))$ и т.п.

Закономерности "1а", "1б" и "1в" могут выполняться и в приближенной форме:

$$(1а)': ((4+)(0++)) \leftrightarrow ((2+)(1++)),$$

$$(1б)': ((5+)(5-)) \leftrightarrow ((3+)(4-)),$$

$$(1в)': ((2-)(1++)) \leftrightarrow ((1-)(1-)).$$

Для тандемов длины 3 и 4 сохранение баланса интервалов — также достаточно характерная закономерность, проявляющаяся обычно в форме "1в":

$$((2-)(1+)(2-)) \leftrightarrow ((1-)(1-)(1-)),$$

$$((3-)(0+)(5-)) \leftrightarrow ((0+)(1+)(1-)),$$

$$((5-)(1-)(1+)(5-)) \leftrightarrow ((0+)(2-)(1-)(1-))$$

и т.п.

2. $I_1 S_1 = I'_2 S'_2$ и $I_2 S_2 = I'_1 S'_1$. Эту взаимосвязь можно характеризовать как *перестановку* соседних элементов. Баланс интервалов при этом сохраняется, но метрические соотношения могут нарушаться: $((0+)(0+)) \leftrightarrow$

$\leftrightarrow ((0 + +)(0 + -))$ — характерна для американских мелодий;
 $((2 + -)(2 + +)) \leftrightarrow ((2 + +)(2 + -))$, $((3 + -)(0 + +)) \leftrightarrow$
 $\leftrightarrow ((0 + +)(3 + -))$ и т.п.

Иногда элементы, образующие перестановку, разделены вставкой: $((1 + -)(1 + +)(7 - -)) \leftrightarrow ((7 - -)(1 + +)(1 + -))$.

Перестановка может реализоваться в приближенной форме $((3 + -)(1 + +)) \leftrightarrow ((0 + +)(3 + -))$, а также в форме трех- или четырехэлементного тандема:

$((4 + -)(0 + +)(0 + -)) \leftrightarrow ((0 + +)(4 + -)(0 + +))$,
 $((1 + +)(1 + -)(2 - +)(0 + -)) \leftrightarrow ((0 + -)(1 + +)(1 + -)(2 - +))$.

3. $(\text{sign} I_1 = \text{sign} I_2) \neq (\text{sign} I'_1 = \text{sign} I'_2)$. Эту взаимосвязь можно охарактеризовать как *изменение направления движения* мелодической линии. Наиболее распространенными вариантами такого варьирования являются замены $((1 - -)(1 - +)) \leftrightarrow ((1 + -)(1 + +))$, $((1 - +)(1 - -)) \leftrightarrow ((1 + +)(1 + -))$, характерные для французских мелодий. В общем случае $|I_1 + I_2| \neq |I'_1 + I'_2|$, как в вышеприведенных примерах, но абсолютные значения интервалов все же невелики: $((2 - +)(1 - -)) \leftrightarrow ((1 + +)(1 + -))$. С некоторой натяжкой к рассматриваемому случаю можно отнести ситуации, связанные с заменой нисходящего или восходящего движения речитативным: $((2 - +)(2 - +)) \leftrightarrow ((0 + +)(0 + +))$, $((3 + +)(1 + -)) \leftrightarrow ((0 + +)(0 + -))$.

4. $I_1 \approx I'_1$, $I_2 \approx I'_2$, $I_1 + I_2 \neq I'_1 + I'_2$, где знак “ \approx ” означает близость значений сопоставляемых интервалов. Эта взаимосвязь обобщает идею “*обострения*” или “*сглаживания*” (см.п.”16”) на случай, когда баланс интервалов не имеет места:

$((2 - -)(5 + -)) \leftrightarrow ((1 - -)(7 + -))$,
 $((2 - -)(2 - +)) \leftrightarrow ((1 - -)(1 - +))$,
 $((5 + -)(5 - +)(3 + -)) \leftrightarrow ((4 + -)(4 - +)(2 + -))$.

Разнообразие типов тандемных замен далеко не исчерпывается выделенными классами, однако общие тенденции использования замен просматриваются в них достаточно отчетливо.

3.3. *Статистика одиночных вставок — делеций*. В табл.2 приведена статистика одиночных вставок (делаций), полученная путем анализа (6, 1)-, (9, 2)-, (12, 3)- и (16, 4)- несовершенных

Т а б л и ц а 2

Статистика одиночных вставок в повторах 1-го рода,
ранжированная по убыванию абсолютных частот (F).

Ранг (г)	T_2 (амер.)		T_Φ (франц.)		T_p (русск.)	
	IS -код	F	IS -код	F	IS -код	F
1	(0 + +)	59	(0 + +)	109	(1 - -)	34
2	(0 + -)	39	(1 - -)	86	(0 + +)	30
3	(1 - -)	28	(1 + -)	77	(1 - +)	26
4	(1 + -)	28	(0 + -)	76	(1 + -)	22
5	(1 - +)	23	(1 - +)	74	(1 + +)	20
6	(2 - +)	20	(1 + +)	65	(3 - -)	18
7	(2 + +)	19	(2 - +)	45	(2 + +)	18
8	(2 - -)	17	(2 + +)	39	(2 - +)	15
9	(1 + +)	15	(3 + -)	29	(0 + -)	12
10	(3 + -)	14	(2 + -)	28	(3 + -)	9
11	(2 + -)	12	(3 + +)	21	(4 + +)	7
12	(4 - +)	8	(2 - -)	20	(3 - +)	6
13	(4 + -)	6	(3 - +)	19	(2 + -)	6
14	(3 - +)	6	(4 - -)	13	(3 + +)	5
15	(4 - -)	5	(4 + -)	12	(2 - -)	5
16	(3 - -)	5	(4 - +)	11	(4 + -)	4
17	(3 + +)	5	(4 + +)	11	(4 - +)	3
18	(5 - -)	2	(5 + +)	9	(6 + +)	2
19	(5 - +)	2	(3 - -)	9	(5 + -)	2
20	(4 + +)	2	(5 + -)	6	(7 + +)	1
21	(7 + -)	1	(7 + +)	5	(6 + -)	1
22	(6 + -)	1	(7 - +)	2	(5 - +)	1
23	(5 + -)	1	(7 + -)	2	(5 + +)	1
24	(5 + +)	1	(6 + -)	2	(4 - -)	1
25			(5 - +)	2		
26			(7 - -)	1		
27			(6 - +)	1		
28			(5 - -)	1		

повторов. В паре (L, k) значение L определяет длину неискаженного фрагмента, а " k " — число вставок в искаженном фрагменте. Потенциально возможный алфавит одиночных вставок совпадает с алфавитом IS -кодов, т.е. равен 38. Реальный алфавит составил примерно $2/3$ от потенциально возможного по всем подборкам. С учетом различий в суммарной длине подборок следует отметить лидирующее положение американской подборки по относительно-му числу вставок. Русская подборка наименее насыщена ими.

По результатам данного эксперимента можно сделать следующие выводы.

1. Статистики одиночных вставок по всем 3 подборкам имеют более высокую согласованность, чем статистики замен.

2. Ранжирование вставок по частоте в каждом упорядочении отражает частотный состав IS -кодов в самих подборках (соответствующие данные приведены в [10]). Коды, существенно поднявшиеся в статистике вставок по сравнению с общей статистикой (т.е. уменьшившие свой ранг) обведены рамками. Эти коды отражают национально-специфические особенности варьирования. Так, вставка (3 —) — скачок на кварту вниз с одновременным усилением звука — наиболее характерна для русской подборки ($r = 6$), поскольку ранг этой вставки в T_a и T_f существенно выше ($r_a = 16$, $r_f = 19$). Абсолютная частота встречаемости этой вставки в русских мелодиях в 2 раза выше, чем во французских, хотя соотношение объемов подборок обратное ($N_f/N_r \approx 2$).

3. Наиболее часто используемые вставки носят "речитативный" характер (0 + +, 0 + -). Это объясняется относительной "нейтральностью" такого рода вставок. Обычно они возникают из-за различия длин серий из речитативных элементов в сравниваемых фрагментах (случай "а"), а также часто предваряют или завершают значительные по величине перепады высот звуковысотной линии (случай "б"). Оба случая фигурируют в приводимом ниже выравнивании двух фрагментов:

$$\begin{array}{ccccccc}
 0 + + & 0 + + & 5 + - 2 - + \dots 1 - + 1 - - & & 4 + - 0 + + & 1 + + \\
 \parallel & \parallel & \parallel & \parallel & \parallel & \parallel \\
 0 + + 0 + - 0 + + & & 5 + - 2 - + \dots 1 - + 1 - - & & 0 + + 4 + - 0 + + & 1 + + \\
 \hline
 \text{Случай "а"} & & & & \text{Случай "б"} & &
 \end{array}$$

3.4. *Статистика тандемных вставок — делеций.* Как и в случае замен, вставки имеют тенденцию кластеризоваться внутри сравниваемых фрагментов, образуя тандемы. Мы выявили и исследовали лишь тандемы с длиной от 2 до 4 символов, которые еще можно отнести к элементам локального варьирования, хотя и с некоторой натяжкой (имея это в виду, мы иногда тандемы с числом элементов свыше 2 будем называть блочными вставками). Преобладающая часть тандемных вставок встречается лишь по разу в своих подборках. Повторы тандемов наблюдаются только при длине 2. В табл. 3 представлена статистика тандемных вставок длины 2, полученная на основе анализа повторов 1-го рода. В нее отобраны все вставки, суммарная частота встречаемости которых по всем трем подборкам не ниже 3. Вставки упорядочены по убыванию суммарной частоты. Для каждой из них указана частота встречаемости в T_a , T_ϕ и T_p . Если, к примеру, для T_ϕ указана частота 4, это означает, что данная вставка имела место в 4 различных мелодиях французской подборки.

Анализ табл. 3 позволяет сделать следующие выводы.

1. Если обозначить элементы тандема в виде $(I_1 S_1)(I_2 S_2)$, то все представленные в табл. 3 вставки характеризуются соотношением $S_1 \neq S_2$. Среди тандемов, не вошедших в табл. 3, имеются такие, у которых $S_1 = S_2$, но их мало. Других существенных взаимосвязей между элементами тандема не обнаружено (в отличие от тандемных замен). Наиболее частые тандемные вставки представляют конкатенацию наиболее частых одиночных вставок, следовательно их статистика приближенно отражает общую биограммную статистику IS -кодов.

2. Примерно в половине случаев тандему $(I_1 S_1)(I_2 S_2)$, представленному в табл. 3, сопутствует симметричный тандем $(I_2 S_2)(I_1 S_1)$ (см. №№ 1 и 2, 5 и 6, 4 и 12, 14 и 15 и т.д.). При этом картина распределения каждой такой пары по подборкам T_a , T_ϕ и T_p — похожая. Например, тандемы 1 и 2 характерны для T_a и T_ϕ , но практически отсутствуют в T_p , тандемы 27 и 31 наоборот, больше характерны для T_p , а тандемы 14 и 15 отсутствуют в T_a .

Статистика тандемных вставок длины 2
в повторях 1-го рода

№	Тандемная вставка	Частота			№	Тандемная вставка	Частота		
		А	Ф	Р			А	Ф	Р
1	0 + + 0 + -	2	15	-	20	0 + - 1 + +	2	2	-
2	0 + - 0 + +	6	8	1	21	1 + - 1 + +	2	2	-
3	1 - + 1 - -	2	10	1	22	0 + + 2 - -	2	2	-
4	1 + - 0 + +	1	4	2	23	2 - + 0 + -	1	3	-
5	0 + + 1 - -	2	2	2	24	2 - + 1 - -	1	3	-
6	1 - - 0 + +	1	4	1	25	2 - + 1 + -	1	-	3
7	1 + + 1 + -	2	3	1	26	1 - + 3 - -	-	1	3
8	1 - - 2 - +	-	6	-	27	3 - - 2 + +	1	1	2
9	2 + + 0 + -	2	4	-	28	1 + + 2 + -	-	1	2
10	2 + + 1 - -	1	4	1	29	2 + - 1 - +	-	3	-
11	2 - + 2 + -	4	2	-	30	2 + + 1 + -	1	1	1
12	0 + + 1 + -	3	2	-	31	2 + + 3 - -	-	-	3
13	1 + + 0 + -	1	3	1	32	2 - - 2 + +	1	2	-
14	1 - + 1 + -	-	4	1	33	1 - - 4 + +	-	3	-
15	1 + - 1 - +	-	4	1	34	3 + - 0 + +	-	3	-
16	1 + + 1 - -	-	2	3	35	3 + - 1 - +	1	2	-
17	1 - - 1 - +	1	2	2	36	3 + + 0 + -	-	3	-
18	1 - - 1 + +	1	3	1	37	3 + + 1 + -	1	2	-
19	3 - + 3 + -	-	4	1	38	4 - + 3 + -	-	2	1
					39	4 - + 4 + -	1	1	1

3. Некоторым аналогом тандемным заменам, сохраняющим баланс интервалов, являются тандемные вставки, суммарный баланс интервалов в которых равен нулю $(I_1 + I_2) = 0$. Это, в основном, симметричные скачки вида $(I - +)(I + -)$, где $I = 1, 2, \dots$ (см. №№ 11, 14, 19, 39). Сюда же формально можно отнести вставки № 1 и 2 ($I = 0$), где знак (+) после нуля ставится условно.

4. Механизмы возникновения тандемных вставок различны. Укажем некоторые из них.

а) Тандемные (или блочные) вставки часто возникают в быстрых плясовых мелодиях, насыщенных короткими повторами. Число таких повторов в разных мелодических строках песни может отличаться (ввиду различий в стихотворном тексте). "Лишние" повторы в какой-либо строке могут фигурировать в виде блочной вставки. Ниже приведен пример несовершенного повтора из русской народной песни "Камаринская":

$$\begin{array}{ccccc} (2-+1+-)(2-+1+-) & (2-+1+-) & 1-+1+-1++2-- \\ \parallel & \parallel & \parallel & \parallel & \parallel \\ (2-+1+-)(2-+1+-) & & 1-+1+-1++2-- \end{array}$$

Здесь верхняя строка соответствует первой строке куплета, нижняя строка — второй (с урезанным началом). Вставка $(2-+1+-)$ образуется в результате 3-кратного повторения этого фрагмента в 1-й строке по сравнению с 2-кратным во второй.

б) Довольно часто несовершенный повтор связывает два фрагмента, в одном из которых мелодия достигает своей кульминации, что проявляется в нестандартных мелодических ходах с большими перепадами значений интервалов, тогда как другой фрагмент является слабым отражением первого (кульминация, как правило, одна). Как следствие, из второго фрагмента устраняются (делеция) как раз наиболее яркие мелодические ходы. Пример такого рода несовершенного повтора из песни "Что так скучно, что так грустно" приведен ниже:

$$\begin{array}{ccccc} 1-- & 2-+2++2+-1-+1-+1-- \\ \parallel & \parallel & \parallel & \parallel & \parallel \\ 1--3+-4-- & 2-+2++2+-1-+1-+1-- \end{array}$$

Здесь выравнены 5-я строка куплета и 4-я строка припева ("Молодые, эх, удалые"). Делеция $(3+-4--)$, переводящая нижнюю строку в верхнюю, соответствует кульминации (Эх, у...) в строке припева.

в) Иногда один или оба фрагмента, составляющие несовершенный повтор, попадают на стыки двух стихотворных (а, следовательно, и мелодических) строк. Блочная вставка (делеция)

В этом случае выделяет сам стык, представленный обычно значительным по величине звуковысотным скачком. Нижеследующий пример, взятый из песни "Ой, полна, полна коробушка", демонстрирует вариант выравнивания первой строки с двумя последующими:

	<u>Начало 1-й строки</u>		<u>Конец 1-й строки</u>
	1 + +1 + -1 + +1 - -1 - - +		4 + -1 - +1 - +
1 - -	1 + +1 + -1 + +1 - -1 - - +0 + -5 + -2 - +4 + -1 - - +		
<u>Нача</u>	<u>по 2-й строки</u>	<u>Конец 2-й строки</u>	<u>Начало 3-й строки</u>

Здесь блочная вставка из трех элементов включает в себя скачок на сексту (5 + -) вверх в начале 3-й строки.

3.5. *Блочные подстановки.* Этим термином будем обозначать замену цепочки u цепочкой v в одинаковом контексте при условии, что $|u| \neq |v|$ (т.е. длины цепочек не совпадают). Случай $|u| = |v|$ мы рассмотрели в разделе, посвященном тандемным заменам. Вновь будем использовать ограничение: $\max(|u|, |v|) \leq 4$, что позволяет рассматривать данный вариант варьирования как находящийся на стыке микро- и макроуровня.

Для упрощения анализа рассмотрим лишь частный случай: $|u| = 1$, $2 \leq |v| \leq 4$. Его можно трактовать как комбинацию двух редакционных операций: а) "одиночная замена" + "вставка" (одиночная или тандемная) или б) две вставки, разделенные одинаковым элементом. Случай "а" иллюстрируется подстановкой $(2++)\leftrightarrow(3--2+-3++)$. Здесь $(2++)$ заменяется на $(3--)$ и осуществляется тандемная вставка $(2+-3++)$. Случаю "б" соответствует подстановка $(4++)\leftrightarrow(3-+3+-4++2--)$. Здесь две вставки $(3-+3+-)$ и $(2--)$ разделены совпавшим элементом $(4++)$.

Статистика блочных подстановок, полученная по подборкам T_a , T_f и T_r , содержит достаточно большой набор элементов, но подавляющая часть подстановок встречается лишь однократно. Немногочисленные кратные подстановки имеют тип $1 \rightarrow 2$ (один элемент заменяется двумя). Для иллюстрации ниже приведены примеры таких подстановок для каждой из подборок (цифра в скобке указывает число мелодий, в которых встретилась данная

подстановка):

T_a	T_Φ	T_p
1 -- \leftrightarrow 1 + - 0 + + (4)	1 -- \leftrightarrow 1 + - 2 - + (5)	0 + + \leftrightarrow 1 + + 1 - + (3)
1 + + \leftrightarrow 0 + + 1 - - (4)	1 -- \leftrightarrow 0 + - 1 - + (4)	3 - + \leftrightarrow 0 + + 3 - - (2)
2 - - \leftrightarrow 1 - + 1 - - (2)	3 - + \leftrightarrow 3 - - 0 + + (3)	1 - - \leftrightarrow 0 + - 1 - + (2)
3 + - \leftrightarrow 1 + - 0 + + (2)	2 + + \leftrightarrow 0 + + 2 + - (3)	1 - + \leftrightarrow 0 + + 1 - - (2)
1 + - \leftrightarrow 2 + + 1 - - (2)	0 + - \leftrightarrow 3 - + 3 + - (2)	1 + + \leftrightarrow 0 + + 1 - - (2)

Поскольку блочные подстановки чаще всего интерпретируются как комбинации замен со вставками, они обладают свойствами и тех и других. Так, анализ вышеприведенных подстановок показывает, что: а) для многих из них сохраняется баланс интервалов между левой и правой частью; б) достаточно крупным скачкам может предшествовать (или за ним следовать) речитативный элемент (см. № 3 в T_Φ и № 2 в T_p , которые, к тому же, демонстрируют перестановочность элементов тандема); в) возможна "нейтрализация" ярких интонационных ходов (см. № 5 в T_Φ).

Приведем еще несколько интересных примеров более длинных блочных подстановок с указанием контекста (т.е. в виде выравнивания)

ПРИМЕР 1 (из песни "Эту песню запеваю"):

2 + + 1 - - 2 - + 1 + - 1 - + 1 - -	4 + -	3 + + 2 - - 2 - +
2 + + 1 - - 2 - + 1 + - 1 - + 1 - -	1 + + 1 + - 1 + + 1 + -	3 + + 2 - - 2 - +

Здесь блочная подстановка (4 + -) \leftrightarrow (1 + + 1 + - 1 + + 1 + -) имеет форму заполнения интервала.

ПРИМЕР 2 (из песни "Травушка-муравушка"):

поз.44: 1 - - 1 - + 1 - -	1 - + 0 + + 1 - -	9 + - 3 - + 1 + + 2 - +
поз.54: 1 - - 1 - + 1 - -		7 + - 3 - + 1 + + 2 - +

Указанные слева начальные позиции показывают, что мы имеем дело с несовершенным тандемным повтором, в котором осуществлена блочная подстановка (7 + -) \leftrightarrow (1 - + 0 + + 1 - - 9 + -) с

Точно так же трудно провести четкую грань между локальным и глобальным варьированием. Глобальное варьирование всегда содержит в себе элементы локального и иногда только их. Так, песни "Идоль по Питерской" и "Я вечер млада", разные и по названию, и по стихотворному тексту, отличаются в мелодическом отношении лишь двумя сбалансированными по интервалам тандемными заменами: $(2 + +3 - -) \leftrightarrow (3 + +4 - -)$ и $(2 + +1 - -) \leftrightarrow (0 + +1 + -)$. Близость мелодий в целом здесь не вызывает сомнений, но речь идет лишь о локальном варьировании.

Глобальное варьирование имеет сходный (с локальным) в функциональном отношении набор редакционных операций (замены, вставки, перестановки), но они имеют *блочный* характер, т.е. варьируемой единицей выступает не отдельный символ (или пара в случае тандемных операций), а цепочка (или *блок*) символов. Условно (как это уже было раньше) будем считать, что минимальная длина блока должна быть не меньше 3. Блочный характер глобального редактирования может привести к тому, что две мелодии могут существенно различаться по длине (и, следовательно, по величине редакционного расстояния в обычном его понимании), но в то же время могут быть переведены одна в другую с использованием небольшого числа блочных операций и восприниматься на слух, как близкие.

С учетом сделанных разъяснений по поводу сходства и различия между локальным и глобальным варьированием можно считать, что речь идет о варьировании на *разных иераргических уровнях*. Специфика глобального варьирования определяется тем, что операбельными единицами выступают не случайные цепочки символов, а семантически нагруженные структуры: интонационные обороты (бытующие и оригинальные), тандемные повторы, мелодические фрагменты, представляющие отдельные слоги, слова, строки стихотворного текста и т.п. Провести количественный анализ разных схем глобального варьирования в данный момент не представляется возможным ввиду ограниченности подборки близких мелодий. Ограничимся лишь качественным анализом наиболее интересных схем варьирования.

4.1. *Варьирование с сохранением мелодико-текстового ритма.* Этот способ варьирования связан с дроблением долей такта, соответствующих отдельным слогам стихотворного текста. Если мы имеем два варианта мелодии с одним и тем же стихотворным текстом, то инвариантом при обсуждаемом типе варьирования выступает песенный (или мелодико-текстовый) ритм, определяемый последовательностью длительностей, соответствующих одним и тем же (но по *разному распетым* в обоих вариантах) *слогам* текста. В [12] песенный ритм определен как ритм "укладки текста на мелодику". Он совпадает с ритмом мелодии только в том случае, когда на каждый слог текста приходится один звук.

Замена ноты, привязанной к конкретному слогу, цепочкой нот с меньшими длительностями и разными высотами при сохранении баланса длительностей приводит в общем случае к изменению *IS*-структуры, тем более сильному, чем мельче дробление и чем чаще оно осуществляется. Примером может служить песня "Как за речкою, да за Дарьею", два мелодических варианта которой сильно отличаются по длине *IS*-представления при полном совпадении песенных ритмов:

1-й вариант:

$$\begin{array}{ccccccc}
 1 - + (1 - - 1 + + 1 - 2 - +) (1 + - 2 - +) (1 + - 1 - + 1 - -) 4 + + 1 - + \\
 \parallel \quad \parallel \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \parallel \quad \parallel \\
 1 - + 1 - - \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad 1 + + \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad 1 - - 2 + + 1 - + \\
 \\
 (1 - - 1 + + 1 + - 2 - +) (1 + - 2 - + 1 - - 1 - + 1 - - 1 - +) 0 + + 4 + - \\
 \parallel \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \parallel \quad \parallel \\
 1 - - \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad 3 - + 0 + + 4 + - \\
 \\
 1 - + 1 - - (1 - + 1 - - 2 + +) 1 + + 1 - - (1 + + 1 + -) 3 - + 1 - - \\
 \parallel \quad \parallel \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \parallel \quad \parallel \quad \parallel \quad \parallel \\
 1 - + 1 - - \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad 2 + - 3 - + 1 - -
 \end{array}$$

Здесь верхняя строка — *IS*-структура мелодии, скобками выделены распетые слоги; нижняя строка — это *IS*-структура, соответствующая песенному ритму; при ее получении нотам, заменяющим цепочки в скобках, приписывались высоты стержневых

звуков мелодии. Обилие скобок, длина и состав цепочек в них указывают на сложный характер распевания слогов.

2-й вариант:

$$\begin{array}{ccccccc}
 0 + +3 + -1 + + & (1 + -2 - +3 + +) & 2 - +1 + -1 - +3 - -0 + + \\
 \parallel & \parallel & \parallel & \parallel & \parallel & \parallel & \parallel \\
 0 + +3 + -1 + + & 1 + - & 1 + + & 2 - +1 + -1 - +3 - -0 + + \\
 \\
 0 + + (1 + -1 - +1 - +) & 4 + -1 - +1 + +2 - -1 - +1 + +2 - - \\
 \parallel & \parallel & \parallel & \parallel & \parallel & \parallel & \parallel \\
 0 + + 1 + - & 2 - + & 4 + -1 - +1 + +2 - -1 - +1 + +2 - -
 \end{array}$$

В этом варианте практически отсутствует распевание слогов (всего две скобки) и, как следствие, *IS*-структура мелодии и *IS*-структура, соответствующая песенному ритму, практически совпадают. Мы видим, что несмотря на совпадение самих песенных ритмов в обоих вариантах мелодии, сопутствующие им *IS*-структуры слабо похожи. Возможно, по этой причине сходство мелодий трудноуловимо на слух.

4.2. *Орнаментальное варьирование* [1]. Этот тип преобразований также связан с дроблением длительностей нот в варьируемой теме, что сближает его с предыдущим методом. Четкую границу между двумя методами провести трудно, однако орнаментальное варьирование отличается большей *регулярностью* (дробится каждая нота, причем одинаковым образом, например, только на три или четыре доли; высота первой ноты в каждом дроблении совпадает с высотой ноты в теме до дробления). Ритмическая единица, образующаяся при дроблении, в общем случае не связана с песенным ритмом (ей может соответствовать несколько слогов текста). Поэтому при данном способе варьирования близкими (с точностью до указанного преобразования) могут оказаться мелодии с сильно отличающимися (по числу слогов) стихотворными текстами.

В применении к реальной песенной практике метод утрачивает свою регулярность: дробятся лишь отдельные ноты (но, как правило, одинаковым образом), возникающая структурно-ритмическая единица может соответствовать одному слогу, т.е. происходит сближение с первым методом. Так, из трех имеющих в нашей подборке вариантов песни "Вниз по матушке по

Волге" два отличаются лишь локальным варьированием, тогда как в третьем варианте большая часть восьмых нот разбита на две шестнадцатые, пропеваемые на тот же слог с сохранением акцентности на стержневых звуках.

4.3. *Изменение лада.* Уже упоминавшиеся выше песни "Я с комариком плясала" и "А я по лугу" имеют практически идентичные стихотворные тексты, но различное *IS*-представление, в котором, тем не менее, просматривается общее интонационное зерно. Оно замаскировано ладовыми различиями. Первая песня написана в мажоре, относится к жанру плясовой, поется быстро и весело, тогда как вторая написана для запевалы и хора в миноре, причем запевала начинает медленно, а хор подхватывает мелодию, убыстряя ее, что, собственно, и обеспечивает сходство обеих мелодий.

4.4. *Блочные вставки, дубликации.* Этот тип варьирования может привести к очень существенному различию в длинах мелодий при сохранении их сходства на слух. Приведем два примера, иллюстрирующих природу подобных преобразований.

Американская песня "Вокруг зеленая трава" представлена в подборке T_a двумя вариантами. Стихотворные тексты совпадают за исключением одной *дополнительной* строки в одном из вариантов. Ей соответствует новый мелодический оборот — *вставка*, удлиняющий мелодию. Другая причина различия в длинах в том, что один вариант мелодии написан для солиста, а другой — для солиста с хором. Солист начинает и ведет мелодию, а хор повторяет отдельные фрагменты. Эти повторы фигурируют в виде вставок — *дубликаций*.

Второй пример — выявленный нами случай неосознанного заимствования из подборки T_{Φ} . Мелодии песен "Рыцари круглого стола" (№ 1) и "Я была пастушкой" (№ 2) воспринимаются на слух как похожие, несмотря на существенное различие в длинах (ниже приведено их выравнивание).

Различие в длинах этих мелодий объясняется двумя факторами: 1) в мелодии № 1 сильнее проявлен элемент речитативности (отсюда многократные тандемные вставки (0 + -0 + +)); 2) длины стихотворных текстов не совпадают, что потребовало крупноблочных вставок — *дубликаций* двух типов (см. цепочки, взятые в круглые и квадратные скобки в № 1). Сходство

$$\begin{array}{l}
\text{№1: } 3 + +0 + -0 + + 2 + +0 + -2 + +0 + -2 + +0 + + \left[0 + +1 - -1 - +1 + + \right] \\
\text{№2: } \qquad \qquad \qquad 1 + +1 + -2 + + \qquad \qquad 3 - + \\
\qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \parallel \\
\text{№1: } 0 + - \left[0 + +1 - -3 - +3 + + \right] 0 + -0 + + 2 + + 0 + -2 + +0 + - \\
\qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \parallel \qquad \qquad \qquad \vdots \\
\text{№2: } \left[1 + +2 - -3 - +5 + + \right] \qquad \qquad 1 + +1 + -1 + + \\
\qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \parallel \\
\text{№1: } 2 - +0 + +0 + + 1 - -1 - +1 + 0 + -0 + +1 - -1 + -0 + +1 + -2 - + \\
\text{№2: } 2 - +2 + + \qquad 1 - -1 - + \qquad 0 + -0 + + \qquad 5 + - \qquad 2 - + \\
\qquad \qquad \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \\
\text{№1: } 0 + +0 + - \left(2 + +0 + +1 - -2 - +0 + +0 + -2 + +0 + +1 - -2 - + \right) 3 + + \\
\qquad \qquad \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \\
\text{№2: } \left(2 + -0 + +1 - -2 - + \qquad \qquad 2 + +0 + +1 - -2 - + \right) 3 + + \\
\qquad \qquad \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \\
\text{№1: } 0 + - 0 + +2 - - \left(2 + +0 + +1 - -2 - +0 + +0 + -2 + +0 + +1 - -2 - + \right) \\
\qquad \qquad \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \parallel \\
\text{№2: } 0 + +2 - - \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad 2 - + \\
\qquad \qquad \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \qquad \parallel \\
\text{№1: } 0 + + 0 + -2 + -0 + +1 - -2 - +3 + +0 + - 0 + +1 - - \\
\text{№2: } 2 + -2 + -0 + +1 - -1 - +4 + + \qquad \qquad 0 + +1 - -
\end{array}$$

мелодий обусловлено тем, что речитативные вставки носят относительно нейтральный характер, т.е. не искажают существенно мелодический рисунок. Крупноблочные же вставки имеют форму дубликаций фрагментов, представленных в обеих мелодиях.

4.5. *Композиционное варьирование.* Этим (условным) термином мы обозначаем следующие варианты варьирования:

а) короткая мелодия является варьированным началом, концом или припевом в длинной (песня "Умеее ли вы садить капу-сту" из Т_Ф вложена в песню "Франция"; песня "Маргаритка" из Т_Ф близка припеву песни "Марианна на мельнице");

б) длинная мелодия образуется путем многократного тиражирования (и варьирования) короткой (примером такой пары являются песни из Т_Ф : "На Северном мосту" (короткая) и "Три разь спасибо" (длинная));

в) длинная мелодия является компиляцией отличающихся друг от друга коротких мелодий (в большей степени характерно для современных мелодий).

З а к л ю ч е н и е

На материале подборок народных песен (русских, французских, американских) проведен качественный и (частично) количественный анализ характеристик варьирования на микро- и макроуровне. Первый подразумевает варьирование отдельных фрагментов мелодии и реализуется с помощью операций, затрагивающих одиночные символы или короткие цепочки символов (замены, вставки, перестановки). Варьирование на макроуровне изменяет мелодию в целом и реализуется с помощью операций блочного типа, затрагивающих достаточно длинные и семантически самостоятельные цепочки символов (блочные замены, вставки, дубликации, заполнение интервалов, дробление длительностей отдельных нот и т.п.).

Разработан достаточно общий подход и эффективные алгоритмы для получения характеристик локального варьирования. Применительно к варьированию на макроуровне создана человеко-машинная процедура выявления близких мелодий, с помощью которой получены многочисленные подтверждения распространенности явления "неосознанного заимствования", являющегося, по-видимому, одним из важных компонентов любого творческого процесса.

Результаты работы могут быть использованы для компьютерного сочинения мелодических вариаций, корректного оценивания весов редакционных операций в музыкально-ориентированных мерах близости, а также для целей классификации (по стилю, жанру, национальной принадлежности и т.п.).

Л и т е р а т у р а

1. ЗАРИПОВ Р.Х. Машинный поиск вариантов при моделировании творческого процесса. — М.: Наука, 1983. — 232 с.
2. ПРОТОПОПОВ В. Вариационные процессы в музыкальной форме. — М.: Музыка, 1967. — 150 с.
3. WAGNER R.A., FISHER M.J. The string - to - string correction problem //J. ACM: — Jan. 1974.— Vol.21, № 1. — P. 168-173.
4. ЖАРКИХ А.А., РЖЕЦКИЙ А.Ю. Оценка гомологии последовательностей по частотам олигонуклеотидов. II. Анализ распределения замен в нуклеотидных последовательностях. П-статистика. — Новосибирск, 1988. — 26 с. — (Препринт/ Ин-т цитологии и генетики).
5. САЛОМАТИНА Н.В. Создание и исследование компьютерного словаря паронимов. — Настоящий сборник. — С. 97-112.
6. БАХМУТОВА И.В., ГУСЕВ В.Д., ТИТКОВА Т.Н. Закономерности варьирования в текстах различной природы и методика их количественного исследования //Анализ текстов и сигналов. — Новосибирск, 1987. — Вып. 123: Вычислительные системы. — С. 25-49.
7. ЗУБКОВ А.М., МИХАЙЛОВ В.Г. Предельные распределения случайных величин, связанных с длинными повторениями в последовательности независимых испытаний //Теория вероятностей и ее применения. — 1974. — Т. XIX, № 1. — С. 173-181.
8. БАХМУТОВА И.В., ГУСЕВ В.Д., ТИТКОВА Т.Н. Иерархия повторов в мелодиях песен (взаимосвязь "текст — мелодия") — Настоящий сборник. — С. 143-171.
9. ГУСЕВ В.Д., НЕМЫТИКОВА Л.А. Алгоритмы поиска в текстовых базах данных по групповому частично специфицированному запросу // Искусственный интеллект и экспертные системы. — Новосибирск, 1996. — вып. 157: Вычислительные системы. — С. 12-39.
10. БАХМУТОВА И.В., ГУСЕВ В.Д., ТИТКОВА Т.Н. Компьютерный поиск признаков, дифференцирующих мелодии по национальной принадлежности // Искусственный интеллект и экспертные системы. — Новосибирск, 1996. — вып. 157: Вычислительные системы. — С. 40-67.

11. BAKHMUTOVA I.V., GUSEV V.D., TITKOVA T.N. The Search for Adaptations in Song Melodies //Computer Music Journal. - 1997.- Vol.21, № 1. - P.58-67.

12. МАЗЕЛЬ Л.А., ЦУККЕРМАН В.А. Анализ музыкальных произведений. - М.: Музыка, 1967.

Поступила в редакцию
29 декабря 1998 года