

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ (Вычислительные системы)

1997 год

Выпуск 160

УДК 519.767.6

ПРОЯВЛЕНИЯ ПОВТОРНОСТИ В МУЗЫКАЛЬНЫХ ТЕКСТАХ: АСПЕКТ МНОГОМЕРНОСТИ¹

И.В.Бахмутова, В.Д.Гусев, Т.Н.Титкова

В в е д е н и е

Повторы являются важными структурными элементами в текстах различных языковых систем. Наличие повторов в музыкальных произведениях подчеркивает единство содержания, способствует лучшему усвоению мелодии и облегчает ее воспроизведение. Варьирование повторяемых фрагментов обогащает мелодию и является важным средством развития музыкальной темы.

Язык повторов по своей природе многомерен. Подобно тому как в естественном языке существуют повторы на лексическом, синтаксическом и семантическом уровне, так и в музыке можно выделить повторы на звуковысотном (интервальном), ритмическом и метрическом уровне.

Целью работы является количественное исследование всех уровней повторности по достаточно представительной подборке песенных мелодий. Представляют интерес, в частности, следующие вопросы:

¹Работа выполнена в рамках проекта № 96-06-80576, поддержанного Российским Фондом Фундаментальных Исследований.

1. Каковы нормативные характеристики проявления повторности по каждому из измерений?

2. Не являются ли аномальные отклонения от нормы признаком недостаточной музыкальной выразительности (и, возможно, малой популярности) соответствующих мелодий?

3. Наблюдается ли взаимосвязь между повторами разных уровней и, в частности, существуют ли своего рода компенсационные эффекты, когда слабо проявленная повторность по одному измерению сопровождается наличием ярких повторов по другим измерениям?

Совместное количественное исследование звуковысотной, ритмической и метрической характеристик мелодии, насколько нам известно, проводится впервые. Немногочисленные работы в этой области касались лишь отдельных характеристик. Отметим среди них работу М.Г.Вороды [1], исследовавшего ритмические характеристики в связи с задачей сегментации музыкального текста, работу Р.Х.Зарипова [2], использовавшего интервально-метрические характеристики для построения частотных словарей мелодий и работы авторов [3 ÷ 5], выполненные в развитие [1] и [2] и ориентированные на исследование эффекта заимствования (возможно, неосознанного) в музыкальном творчестве.

Результаты работы могут быть использованы для работы различных формальных критериев благозвучности мелодий. Данная проблема обсуждалась в [2] в связи с задачей отсеивания малоперспективных вариантов при машинном моделировании мелодий. Нормативные характеристики проявления повторности по разным измерениям представляют интерес и в плане оценки эффективности сжатия музыкальных текстов [6,7], что актуально при создании музыкальных баз данных.

1. Элементарные (и производные от них) характеристики мелодии

Пусть $T = z_1 z_2 \dots z_N$ — музыкальный текст, состоящий из последовательности N нот. Каждой ноте соответству-

ет определенный звук, характеризующийся высотой W , длительностью d и относительной силой p , определяемой привязкой к координатной метрической сетке такта [2]. Последовательности нот в T можно поставить в соответствие *звучовысотную* характеристику

$$W(T) = W_1 W_2 \dots W_N, \quad (1)$$

и *длительностную*

$$D(T) = d_1 d_2 \dots d_N. \quad (2)$$

Значения элементов в (1) задаются путем указания номера октавы и основной ступени звукоряда ("до", "ре", "ми". . .). Значения элементов в (2) указывают длительности соответствующих нот (целая, половинная, четвертная).

Последовательность (2), обогащенную информацией о тактовой структуре, паузах и лигах, будем называть ритмической характеристикой мелодии:

$$R(T) = r_1 r_2 \dots r_{N'}. \quad (3)$$

Здесь элементы r_i , $1 \leq i \leq N'$, могут означать либо длительность конкретной ноты, либо тактовую черту, либо паузу с указанием ее длительности, либо залигованную цепочку нот. Заметим, что всегда имеет место $N' > N$, а отношение $\rho = N/N'$ в определенных ситуациях может быть использовано в качестве классификационной характеристики (жанра, стиля и т.п.).

Наряду с (1)–(3), описывающими каждую ноту в отдельности, могут быть сформированы характеристики, связывающие каждую пару соседних нот. Важнейшими из них являются *интервальная*

$$I(T) = I_1 I_2 \dots I_{N-1}, \quad (4)$$

где $I_k = W_{k+1} \ominus W_k$, $1 \leq k \leq N-1$, \ominus — символ специальной операции вычитания, и *метрическая*

$$S(T) = S_1 S_2 \dots S_{N-1}, \quad (5)$$

где

$$S_k = \begin{cases} + & \text{при } p_{k+1} > p_k, \\ - & \text{при } p_{k+1} \leq p_k, \end{cases} \quad 1 \leq k \leq N-1,$$

а p_k — целочисленная величина, указывающая относительную силу доли такта, соответствующей k -му звуку (меньшее значение p соответствует большей силе звука).

Значение I_k в (4) соответствует числу ступеней между высотами k -го и $k+1$ -го звуков мелодии. Если $I_k > 0$, это соответствует восходящему движению звуковысотной линии, если $I_k < 0$ — нисходящему. Аналогично, $S_k = "+"$ означает переход от сильного звука к слабому, $S_k = "-"$ — наоборот.

На основе (4) и (5) Р.Х.Зариповым [2] была введена комбинированная интервально-метрическая характеристика

$$IS(T) = (I_1 S_1)(I_2 S_2) \dots (I_{N-1} S_{N-1}). \quad (6)$$

Значение $I_k S_k$ в (6) представляет собой трехэлементный код: $|I_k|$, знак I_k , S_k . Код $(3+)$, например, трактуется как скачок вверх на 3 ступени с одновременным усилением звука, а код $(0++)$ — как сохранение высоты звука при уменьшении его силы.

Каждая из характеристик несет свою функциональную нагрузку. Так, тяготение к определенным мелодическим оборотам (звуковысотное представление (1)) может служить характеристикой *стиля* композитора. Представления (2), (3) служат основой для определения *жанра* и для формального выделения в тексте элементарных *ритмических единиц* [1]. Метрическая характеристика (5) важна при исследовании *песенного ритма* (взаимосвязи текста и мелодии). Характеристики (4) и (6) представляют своего рода *инварианты* к сдвигу интонационного оборота по высоте, изменению его ритмического рисунка и лада, что может оказаться существенным при выявлении *сходства* двух мелодий.

2. Количественные показатели проявления повторности

Все описанные в предыдущем разделе характеристики мелодии являются символьными последовательностями с ограниченным алфавитом. Всевозможные проявления повторности в каждой из них можно характеризовать различными количественными показателями. В используемой нами системе описания [8], последовательно фиксирующей повторы длины 1, 2, и т.д. в слитном тексте, такими показателями являются:

- M_l — число различных l -грамм (подпоследовательностей из l подряд следующих символов). Чем больше M_l , тем слабее в среднем проявлена повторность в тексте;

- $F_{max}^l = \max_{1 \leq i \leq M_l} F_{il}$ — максимальная частота встречаемости l -грамм в тексте (F_{il} — частота i -й l -граммы из словаря l -грамм, представленных в тексте);

- l_{max} — длина максимального повтора;

- E_l^k — число l -грамм, каждая из которых встрети-лась в тексте ровно k раз, $1 \leq l \leq l_{max}$; $1 \leq k \leq F_{max}^l$. Особенно важен параметр E_l^1 — число однократно встречающихся l -грамм: чем выше E_l^1 , тем слабее проявления повторности в тексте;

- $l^* = \arg \max_l (M_l - E_l^1)$ — значение l , при котором наблюдается максимальное разнообразие повторяющихся l -грамм. С некоторой натяжкой можно трактовать l^* как среднюю длину повтора в тексте;

- $C(T)$ — сложность текста T [9], понимаемая как минимальное число операций типа генерации символа либо копирования цепочки символов, с помощью которых можно было бы породить заданный текст T . Операции копирования, вносящие решающий вклад в формирование текста, фиксируют в префиксной (уже синтезированной части текста) цепочки, дублированием которых можно максимальным образом удлинить префикс. Чем меньше значение $C(T)$, тем сильнее выражен эффект повторности в тексте.

Параметры M_i , F_{max}^i и E_i^k имеют ограниченное применение, поскольку связаны с повторами фиксированной длины l . Параметры l_{max} , l^* , M_i^* — E_i^1 , $C(T)$ носят интегральный характер и в той или иной мере учитывают весь спектр повторов разной длины. Значения этих параметров зависят от мощности исходного алфавита и длины текста.

В данной работе мы будем использовать для фиксации проявлений повторности лишь один показатель — длину максимального повтора l_{max} (кратность его в большинстве случаев равна 2). Будет приниматься во внимание также схема расположения максимальных повторов внутри мелодии. Наш выбор обусловлен тем, что повторы максимальной длины во многих случаях могут рассматриваться как самостоятельные семантические единицы, определяющие интонационное своеобразие мелодии, а зачастую и ее структуру. Они тесно связаны со структурой стихотворного текста, положенного в основу мелодии.

При определении длины максимального повтора важно оговорить, что мы понимаем под длиной песенной мелодии.

Если музыкальное оформление каждого куплета отличается от других (мелодия исполняется "на полный текст"), то кодируются все куплеты. Мелодия имеет при этом аномально большую длину. Такие случаи относительно редки.

Если каждый куплет мелодии имеет одинаковое музыкальное представление и нет припевов, кодируется один куплет. Длина мелодии полагается равной длине куплета. Таких случаев в нашей подборке порядка 15%.

Если каждый куплет сопровождается припевом, кодируются куплет и припев. Таких мелодий в нашей подборке около 35%.

Некоторая неопределенность в трактовке длины мелодии возникает, когда исполнение куплета или припева сопровождается чисто *механическим* (без варьирования) повторением нескольких последних строк. С одной сто-

роны, было бы не совсем логично удлинять мелодику за счет такого повторения (возможно, потому не все композиторы фиксируют его в нотном тексте, ограничиваясь лишь указанием на необходимость повтора). С другой стороны, некоторые композиторы фиксируют в нотном тексте даже механические повторения. Более того, довольно часто сам куплет в музыкальном отношении бывает построен по схеме механического повторения, хотя соответствующий куплету стихотворный текст повторов не содержит. Если не признавать такого рода повтор значимым элементом структуры, придется опускаться на более низкий иерархический уровень, т.е. начинать анализировать на предмет отыскания максимального повтора отдельные части куплета, затем строки и т.д.

Приведенные соображения показывают, что длина максимального повтора существенно зависит от того, как мы определим длину мелодии. В рамках данной работы мы воспользовались компромиссным решением, учитывающим волю самого композитора: механические повторения строк куплета или припева включались в структуру мелодии, если были отражены в нотном тексте, в противном случае — нет.

Заметим, что "бескомпромиссные" подходы (типа: "исключаем все механические повторения" либо "учитываем их") приводят к снижению средней длины максимального повтора в первом случае и повышению — во втором по сравнению с приводимыми ниже оценками. Расхождение будет не слишком значительным, поскольку повторения строк куплета или припева имеют место не более чем в половине случаев, не все повторения механические и даже при наличии последних не всегда именно они определяют максимальный повтор.

3. Описание эксперимента

Анализировалась подборка из 216 песен советских композиторов [10]. Суммарная длина подборки — порядка $1 \cdot 7 \cdot 10^4$ нотных знаков. Представлены песни:

а) о Родине и партии; б) о защите Отечества; в) мира, труда и молодости, а также г) лирические и шуточные.

По исходному нотопиному представлению каждой мелодии определялись I , R , S - и IS -характеристики. Для каждой из них вычислялся полный спектр повторов (соответственно, интервальных, ритмических, метрических и интервально-метрических), фиксировались повторы максимальной длины и места их вхождения в текст.

Для подборки в целом вычислялись средние длины максимальных повторов для I -, R -, S - и IS -представлений:

$$\overline{l_{max}^I} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m l_{max}^I(i),$$

$$\overline{l_{max}^R} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m l_{max}^R(i) \text{ и т.д.,}$$

где m — число мелодий в подборке; $l_{max}^I(i)$ — длина максимального интервального повтора в i -й мелодии, $1 \leq i \leq m$; $l_{max}^R(i)$ — длина максимального ритмического повтора и т.д. Оценивались среднеквадратичные отклонения параметра l_{max} по каждому измерению:

$$\sigma^I = \left(\frac{1}{m-1} \cdot \sum_{i=1}^m (l_{max}^I(i) - \overline{l_{max}^I})^2 \right)^{1/2},$$

$$\sigma^R = \left(\frac{1}{m-1} \cdot \sum_{i=1}^m (l_{max}^R(i) - \overline{l_{max}^R})^2 \right)^{1/2} \text{ и т.д.,}$$


а также минимальные и максимальные (по всей подборке) значения этого параметра по каждому измерению:

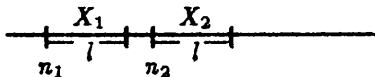
$$l_{min}^I = \min_i (l_{max}^I(i)), \quad l_{max}^I = \max_i (l_{max}^I(i)),$$

$$l_{min}^R = \min_i (l_{max}^R(i)), \quad l_{max}^R = \max_i (l_{max}^R(i)) \text{ и т.д.}$$

Оценки средних значений дают количественное представление о "норме" проявления повторности по каждому измерению, а оценки разброса и среднеквадратичного отклонения позволяют судить об аномально низких или высоких проявлениях повторности.

Поскольку места вхождения максимальных повторов в текст фиксируются, вводится несколько градаций по способу их расположения внутри мелодий. Максимальный повтор, образованный идентичными фрагментами X_1 и X_2 длины l , начинающимися в позициях n_1 и n_2 , $n_2 > n_1$ музыкального текста, будем считать:

а) *разнесенным* ("P"), 
если $n_2 - n_1 - l > l$;

б) *тандемным* ("T"), 
если $n_2 - n_1 \approx l$;

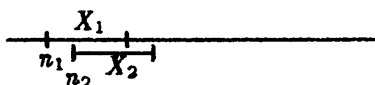
в) *наложившимся* ("H"), 
если $n_2 - n_1 \ll l$;

Схема "а" носит аperiодический характер, схема "в" указывает на наличие периодичности с малой длиной периода $q = n_2 - n_1 \ll l$ и высокой кратностью повторения. Этот случай можно проиллюстрировать следующим примером:

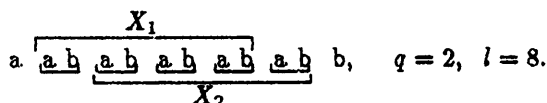
а.  $q = 2, l = 8$.

Схема "б" является промежуточной между "а" и "в": наблюдается тенденция к периодичности, причем длина периода относительно велика ($q \approx l$), а кратность мала (2, реже 3).

Кроме трех указанных схем расположения (основных) будем использовать дополнительные градации: ТН — тандемный повтор с небольшим наложением и ТР — тандемный повтор с небольшим разнесением.

Информация о типе повтора косвенно характеризует его значимость. Наиболее значимыми в естественных языковых системах обычно считаются фрагменты, начинающие и заканчивающие самостоятельные в структурном отношении разделы текста. Особое внимание поэтому следует уделять повторам типа "Р", где элемент X_1 расположен в начале мелодии, а элемент X_2 — в конце. Длинные повторы типа "Н" свидетельствуют об относительной структурной простоте анализируемого текста. Они характерны для народных песен, особенно плясовых. Длинные повторы типа "Т" дают подсказку о масштабнотематической схеме мелодии.

4. Обсуждение результатов

4.1. *Нормативные показатели проявления повторности.* Средние длины максимальных повторов, оценки разброса и среднеквадратичного отклонения по каждому измерению представлены в табл.1 (с указанием средней длины мелодии \bar{N}).

Т а б л и ц а 1

Тип характеристики α	$\overline{l_{\max}^{\alpha}}$	σ^{α}	l_{\min}^{α}	l_{\max}^{α}	\bar{N}^{α}
<i>I</i>	12.7	7.7	3	50	83
<i>R</i>	26.5	15.3	7	125	110
<i>S</i>	30.1	15.15	8	102	83
<i>IS</i>	12.2	7.5	3	50	83

При анализе табл.1 обращают на себя внимание следующие моменты:

1. Различие в средних длинах максимальных повторов по *I*- и *IS*-измерениям, с одной стороны, и *R*- и *S*- — с другой, весьма существенно (в $2 \div 2.5$ раза). Легко понять, что максимальные длины повторов наблюдаются по *S*-измерению, поскольку число градаций здесь минимальное (+ и -). В то же время размеры алфавитов *I*- и *R*-характеристик сопоставимы (порядка $15 \div 20$

элементов) и можно было бы ожидать более близких значений параметров $\overline{l_{max}^I}$ и $\overline{l_{max}^R}$ с некоторым превашированием последнего ввиду большей длины ритмического представления. Поскольку данный прогноз не выполняется, это означает, что *ритмическое представление* гораздо более консервативно (менее вариативно) по сравнению с интервальным и сохраняет корреляционные связи между своими компонентами на большую глубину.

2. Прямой зависимости между длиной максимального повтора по любому измерению и длиной мелодии не существует. Из двух сравниваемых мелодий более короткая может иметь более длинный максимальный повтор. Например, песня С.Туликова "Курский соловей" имеет максимальный I-повтор длины 4 при длине мелодии 75, тогда как песня С.Пушкова "Лейся, песня, на просторе" имеет I-повтор длины 10 при длине мелодии 44.

В то же время из чисто комбинаторных соображений следует ожидать увеличения в среднем длины максимального повтора с ростом длины мелодии. Для случайных текстов эта зависимость имеет вид [11]

$$l_{max} \sim \frac{2 \cdot \ln N}{\left| \ln \sum_{r=1}^n p_r^2 \right|}, \quad (*)$$

где N — длина текста, n — размер алфавита, p_r , $1 \leq r \leq n$, — вероятность появления элементов алфавита. Приведенные выше соображения о связи длины максимального повтора с размером алфавита мотивировались с комбинаторной точки зрения как раз соотношением (*). Однако для столь неслучайных последовательностей, какими являются песенные мелодии, соотношение (*) может служить лишь качественным ориентиром. Некоторые количественные оценки были получены нами следующим образом.

Вся подборка была разбита на две группы. В первую вошли мелодии с длиной $N < \overline{N}$, во вторую — с $N > \overline{N}$. Мелодии с $N = \overline{N}$ были случайным образом распределены поровну между обеими группами. В первой группе оказалось 119 мелодий (для I-, S- и IS-представлений),

во второй — 97. Средняя длина мелодий первой группы — $\overline{N_1} = 63$, второй группы — $\overline{N_2} = 106$. Средняя длина максимального I -повтора для первой группы $\overline{l_{1\max}^I} = 10.3$, для второй $\overline{l_{2\max}^I} = 15.95$. Таким образом, средние длины максимальных повторов демонстрируют тенденцию к увеличению с ростом длин мелодий.

3. Среднеквадратичные отклонения σ^α по всем измерениям достаточно велики. Это еще раз подчеркивает, что разброс длин максимальных повторов весьма значителен и обсуждавшиеся выше зависимости l_{\max} от длины мелодии и размера алфавита проявляют себя лишь в среднем.

Гистограммы распределения длин (не приводимые здесь) сильно асимметричны. Как видно из табл. 1, минимальные значения длин отстоят от среднего примерно на σ ($l_{\min}^\alpha \approx \overline{l_{\max}^\alpha} - \sigma^\alpha$), тогда как максимальные — на $3 \cdot \sigma$ и более ($l_{\max}^\alpha > \overline{l_{\max}^\alpha} + 3 \cdot \sigma^\alpha$). С этой точки зрения традиционные критерии аномальности наблюдений (типа выхода за интервал 3σ) могут быть применены лишь для супердлинных максимальных повторов, но не для коротких. Иными словами, мелодий с аномально низким уровнем проявления повторности хотя бы по одному измерению в данной подборке не обнаружено. С некоторой натяжкой можно говорить лишь о *малоповторных* мелодиях, имея в виду относительно длинные мелодии со значением длины максимального повтора равным абсолютному минимуму по всей подборке l_{\min}^α (или близким к нему).

4. *Интервальная (I) и интервально-метрическая (IS) характеристики* обнаруживают *тесную взаимосвязь* по длине максимального повтора, что отражено в близости значений строк 1 и 4 табл. 1. Формально для любой мелодии должно выполняться соотношение $l_{\max}^I \geq l_{\max}^{IS}$. Анализ подборки показал, что в подавляющем большинстве случаев имеет место равенство, т.е. наличие интервального повтора влечет за собой повтор той же длины и на метрическом уровне, позиционно эквивалентный интервальному, но не обязательно максимальный.

В связи с этим вызывает сомнение относящееся к выявлению заимствований в мелодиях утверждение Р.Х.Зарипова о том, что именно "интервально-метрическая структура служит носителем сходства, или образа, разных интонаций". Отдельно же взятый инвариант — последовательность интервалов — не обеспечивает сходства интонаций" [2, с.208]. Наш эксперимент демонстрирует, что интервальный инвариант (т.е. повтор) очень редко бывает "отдельно взятым". Ему почти всегда сопутствует метрический повтор. Из этого следует, что основой для обнаружения заимствований достаточно интервальных повторов, часть которых (очень незначительную), возможно, придется отсеять из-за несовпадения метрических структур.

Развивая затронутую тему, отметим, что несовпадение ритмических структур у максимальных I-повторов, наблюдается гораздо чаще (примерно в 30% случаев). Чаще всего ритмические структуры отличаются незначительно (несколькими заменами), но бывают радикально различающиеся ритмы. В последнем случае совпавшие по интервально-метрической структуре фрагменты обычно не воспринимаются при прослушивании как сходные.

4.2. *Позиционные характеристики максимальных повторов.* В разделе 3 мы выделили 5 схем расположения фрагментов, составляющих максимальный повтор: *разнесенные* (Р) — отстоящие друг от друга не менее чем на длину фрагмента *l*; *тандемные* (Т) — следующие непосредственно друг за другом (или с очень небольшим наложением, или с очень небольшой по сравнению с длиной фрагмента *l* задержкой); *наложившиеся* (Н) — возникающие при *k*-кратном повторении малого (по сравнению с *l*) сегмента; *тандемно-разнесенные* (ТР) — промежуточные по степени разнесения между Р и Т; *тандемные с наложением* — промежуточные между Н и Т.

Приводимая ниже табл. 2 фиксирует, какую долю (в процентах) составляет каждая из градаций по каждому

измерению (*I*, *R* и *S* соответственно).

Т а б л и ц а 2

Тип повтора	Тип характеристики		
	<i>I</i>	<i>R</i>	<i>S</i>
Р	49.8	23.3	11.8
ТР	18.2	14.8	5.7
Т	25.5	26.5	21
ТН	4.3	31.4	30.1
Н	2.2	4	31.4

Анализ табл. 2 показывает, что каждое измерение тяготеет к своей схеме расположения максимальных повторов. В интервальной и интервально-метрической характеристиках преобладают разнесенные максимальные повторы (Р). В ритмической характеристике превалируют тандемные и тандемные с наложением повторы (Т и ТН), т.е. усиливаются проявления периодичности. Для метрической составляющей характерны повторы с наложением (Н) и тандемные с наложением (ТН), т.е. степень проявления периодичности еще более возрастает (убывает длина периода, повышается кратность).

Наиболее длинные (из максимальных) *I*- и *IS*-повторы тем не менее чаще всего имеют тип Т или ТР и связаны с повторением нескольких последних строк куплета или припева. Если тандемный повтор расположен в конце мелодии, речь обычно идет о повторении строк припева. Если тандемный повтор расположен в середине мелодии, это вероятнее всего означает, что мелодия имеет припев, а повторение имеет место в куплете. И, наконец, если тандемный повтор имеет значительную длину и расположен в начале мелодии, это чаще всего означает, что первая и вторая половины куплета распеваются одинаково (такова, например, известная "Песня о тачанке" К.Листова). Мы говорим в таких случаях, что куплет имеет структуру ХХ. При этом последние строки куплета могут допускать и механическое повторение, но соответствующий ему *I*-повтор уже не будет, как правило, максимальным.

Структура ХХ типична для русских народных песен. Распространенность ее, повидимому, объясняется тем, что повторяющиеся элементы ярко проявляют себя на *всех уровнях* (интервальном, ритмическом, метрическом), позиционно согласованы и покрывают значительную часть мелодии. Это создает ощущение единства содержания и облегчает восприятие мелодии.

Максимальные I- и IS-повторы типа Р также имеют четкую привязку к структуре стихотворного текста. Обычно они фиксируют взаимосвязь между разными строками куплета (и тогда расположены в первой половине мелодии), припева (расположены во второй половине) или куплета и припева (расположены в начале и в конце мелодии).

Заметим, что важную структурную нагрузку могут нести не только максимальные, но и ближайшие к ним по длине повторы. В первую очередь это касается мелодий, в которых максимальный повтор тандемный и обусловлен механическим повторением строк. Ближайшие к нему по длине повторы в этом случае (как правило, разнесенные) указывают на взаимосвязь отдельных частей мелодии (куплета с припевом, строк куплета и т.п.).

Наиболее длинные (из максимальных) ритмические повторы имеют тип ТН, т.е. характеризуются внутренней периодичностью. Обычно она связана с тактовой структурой (повторение одного, двух или более тактов). Так, например, длина максимального ритмического повтора в песне Соловьева-Седого "Соловьи" равна 41 и образуется он путем 5-кратного дублирования двух тактов: [8.1688|8888].

Наиболее длинные (из максимальных) метрические повторы имеют тип Н. Как правило, они возникают на участках регулярного чередования сильных и слабых звуков и, как следствие, имеют внутреннюю периодичность с длиной периода 2 $\overbrace{+ - + - + - \dots}^{\dots}$. Периоды длины 3 встречаются реже и в основном имеют вид

$\overbrace{++-+-}^{\dots} \dots$. Вопрос о позиционной привязке

метрических повторов обычно отходит на второй план, поскольку при большой длине этих повторов часты случаи, когда длина повтора сопоставима с длиной мелодии.

Отметим редкую (почти аномально низкую) встречаемость максимальных повторов типа Н для I- и R-характеристик. Такие повторы, как правило, имеют небольшую длину.

Интервальные повторы типа Н возникают на речитативных ($|I| = 0$) или гаммаобразных ($|I| = 1$) участках. Ритмические повторы типа Н могут возникать в пределах одного такта или с большим количеством одинаковых по длительности нот $\boxed{88888888}$ или при повторении коротких тактов. Слишком длинные (или многочисленные) речитативные и гаммаобразные участки придают мелодии излишне монотонный характер и могут служить причиной ее невысокой популярности, если только их наличие не обусловлено тематической целесообразностью ("Колыбельная" М.Блантера, "Молодежная" И. Дунаевского и т.п.).

4.3. *Анализ наиболее популярных мелодий.* В пп 4.1 и 4.2 мы описали, как выглядят количественные характеристики повторности "в норме" и что следует понимать под существенным отклонением от нормы. Естественно предположить, что мелодии, в которых наблюдаются существенные отклонения от нормы сразу по нескольким параметрам, рискуют оказаться непопулярными. Основанием для этого могут служить аналогии с естественными языками, где излишнее усложнение конструкции предложения затрудняет его восприятие и повышает вероятность появления ошибки, а излишнее упрощение создает ощущение монотонности и ведет к потере выразительности.

Рассмотрим с этих позиций различные проявления повторности в наиболее популярных мелодиях из числа

представленных в анализируемой подборке². В табл. 3 приведены качественные и количественные характеристики отобранных мелодий (длины максимальных повторов по I-, R- и S-измерениям, их типы) и даны краткие комментарии к ним.

Попытаемся на основе табл. 3 представить "обобщенный портрет" популярной мелодии. Прежде всего — это мелодия, в основе которой лежит достаточно однородный в ритмическом отношении *удобный* для пропевания *стихотворный текст*. Из 21 отобранных мелодий 7 написаны на слова М.Исаковского, известного поэта-песенника, причем эти 7 распределены между 5 разными композиторами (И. Дунаевский, М. Блантер и др.).

В тематическом отношении 2/3 песен из табл. 3 отнесены к разряду *лирических*. В структурном отношении наиболее характерной является конструкция в виде *куплета с повторением* нескольких (от 1 до 3) *строк* (11 мелодий). Примерно в половине случаев имеет место *варьирование* повторяемых строк. Конструкция типа "куплет + припев" (все без повторения строк) встретилась 5 раз. При этом (и только в этой конструкции) куплет имеет форму XX. Конструкция в виде одного куплета без повторения строк встретилась 4 раза. Лишь в одном случае мелодия была расписана на 2 куплета.

Мелодий, расписанных на "*полный текст*", в табл. 3 нет. Мало их и во всей подборке (в качестве примера укажем на песню И. Дунаевского "Летите, голуби" на слова М. Матусовского). Мелодии такого типа достаточно сложны для исполнения, поэтому их трудно отнести к разряду "массовых".

Более сложные в структурном отношении мелодии (в частности, построенные по схеме "куплет + припев") имеют в среднем большую длину. Поскольку основная часть мелодий, представленных в табл. 3, имеет довольно про-

² Авторы старались отобрать мелодии, прошедшие проверку временем, хотя отчетливо осознают, что элемент субъективизма здесь неизбежен.

Т а б л и ц а 3

Количественные проявления повторности в наиболее популярных мелодиях из подборки [10]

№	Композитор, название, размер автор слов	Длина I -хар.	I_{\max}^I	I_{\max}^R	I_{\max}^S	Тип I -пов.	Тип R -пов.	Тип S -пов.	Комментарии
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	И. Дунаевский "Ой, цветет калина," 2/4, слова М. Исаковского	59	10	24	26	ТР	ТН	ТН	Длины всех повторов близки к средним значениям. I - и R -повторы позиционно совмещены. Максимальный I -повтор связывает 1-ю и 2-ю строки куплета. Повторение последней строки каждого куплета сопровождается секвентным переносом и варьированием, что также приводит к образованию I -повтора, но меньшей длины.
2	И. Дунаевский "Каким ты был?", 4/4, 2/4, слова М. Исаковского	59	13	15	16	ТР	ТР	ТР	Все повторы позиционно совмещены и обусловлены повторением (в варьированной форме) двух последних строк куплета. Пониженная R - и S -повторность связана с переменным размером.
3	И. Дунаевский "Школьный вальс", 3/4, слова М. Матусовского	103	6	71	67	ТР	ТН	Н	Нотный текст расписан на 2 куплета (отсюда большая длина мелодии) и не содержит механических повторений (отсюда малая длина I -повтора). Компенсирующим фактором является характерная для вальсов сильная R - и S -повторность.
4	М. Блантер "Катюша", 2/4, слова М. Исаковского	58	22	41	36	Т	ТН	ТН	Длины всех повторов выше нормы. Повторы позиционно совмещены. Максимальные I - и IS -повторы обусловлены механическим повторением двух последних строк куплета.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	М.Блантер "Лучше нету того цвету", 3/4, слова М.Исаковского	94	13	34	45	Р	ТР	Н	Длины <i>Р</i> - и <i>S</i> -повторов выше средних (см. №3 с тем же размером). Повторы позиционно не совмещены. Максимальный <i>IS</i> -повтор связывает начальные и конечные строки куплета. Следующий по величине <i>IS</i> -повтор длины 11 обусловлен повторением в варьированной форме двух последних строк куплета.
6	Дм. и Дан.Покрасс "Москва майская", 4/4, слова В.Лебедева-Кумача	91	25	46	36	ТР	ТР	Н	Длины всех повторов выше средних. <i>IS</i> - и <i>Р</i> -повторы позиционно совмещены. Куплет имеет схему <i>XX</i> и максимальный <i>IS</i> -повтор связывает первую и вторую его половины. (Утро красит. . .Холодок бежит. . .).
7	Дм. и Дан.Покрасс "Прощание", 4/4, слова М.Исаковского	30	4	10	16	Р	ТР	ТН	Очень короткая мелодия без припева и повторения строк. Этим объясняется пониженная длина всех повторов, что в данном случае не является аномалией.
8	Дм. и Дан.Покрасс "То не тучи — гро- зовые облака", 4/4, слова А.Суркова	65	21	61	32	Т	ТН	ТН	Длины всех повторов выше нормы. Максимальный <i>IS</i> -повтор обусловлен механическим повторением двух последних строк куплета. Влижайший к нему по длине <i>IS</i> -повтор (<i>l</i> = 9) связывает 1-ю и 2-ю строки куплета.
9	Ю.Милютин "Сирень-черемуха", 2/4, слова А.Софронова	67	15	29	27	ТН	ТН	Н	Длины всех повторов близки к норме. Повторы позиционно совмещены. Довольно редкий тип ТН <i>I</i> -повтора обусловлен трехкратным тандемным повторением (<i>q</i> = 3), соответствующим 3, 4 и 5-й строкам куплета.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	В.Соловьев-Седой "Где же вы теперь, друзья-однополчане!", 2/4, слова А.Фатьянова	83	13	17	23	P	P	P	R- и S-повторы несколько ниже нормы. Все повторы позиционно согласованы (все типа P). Максимальный IS-повтор связывает 3-ю и 6-ю строки куплета. Механических повторений нет.
11	В.Соловьев-Седой "На солнечной поляночке", 2/4, слова А.Фатьянова	93	29	36	30	TP	TP	TP	Куплет имеет форму XX (Второе четверостишие поется так же, как первое). Как следствие, повторы имеют значительную длину и позиционно согласованы (все типа TP).
12	В.Мокроусов "Одинокая гармонь", 3/4, слова М.Исаковского	56	9	58	28	P	TH	TH	Ярко выражена ритмическая повторяемость, характерная для вальсообразных мелодий. Максимальный IS-повтор обусловлен повторением (с незначительным варьированием) двух последних строк куплета. Если пренебречь несущественной заменой, повтор удваивает свою длину, становясь тандемным.
13	В.Мокроусов "Хороши весной в саду цветочки", 4/4, слова С.Алымова	65	22	27	22	T	T	T	Все повторы позиционно согласованы и образованы в результате дублирования трех последних строк куплета. Следующий по длине IS-повтор ($l = 8$) связывает 1-ю и 2-ю строки куплета.
14	А.Александров "Священная война", 3/4, слова В.Лебедева-Кумача	57	12	17	28	P	TP	H	Повторы близки к средним значениям, но позиционно не согласованы (отсюда разнообразие типов). Максимальный IS-повтор связывает 2 последних строки куплета и припева.
15	В.Захаров "Ой, туманы мои", 4/4, 2/4, слова М.Исаковского	71	11	14	20	P	P	TP	Распевность, варьирование основных интонаций, переменный размер способствуют снижению длин повторов по сравнению с нормой. Максимальный IS-повтор обусловлен варьированным повторением двух последних строк куплета.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	С.Кац "Шумел сурово брянский лес", 3/8, слова А.Софронова	61	18	31	28	T	T	TH	Все повторы близки к норме, позиционно согласованы и связаны с дублированием трех последних строк куплета с небольшой вариацией на стыке.
17	К.Листов "Песня о тачанке", 4/4, слова М.Рудермана	91	29	37	29	T	T	T	Куплет имеет схему XX, что объясняет наличие длинного IS-повтора и согласованность с ним R- и S-повторов.
18	К.Листов "В землянке", 3/8, слова А.Суркова	71	5	84	68	P	TH	H	Относительно слабые проявления повторности по I-характеристике объясняются активным варьированием основных интонаций. Супердлинны R- и S-повторы, характерные для вальсообразных мелодий, создают определенный компенсационный эффект.
19	А.Новиков "Смуглянка", 2/4, слова Я.Шведова	110	12	43	37	P	TH	TH	IS-повтор длины 12 связывает начальные строки двух четверостиший куплета; IS-повтор длины 11 — 1-ю и 2-ю строки припева. I-, R- и S-повторы куплета согласованы.
20	Н.Богословский "Спят курганы темные", 6/8, слова Б.Ласкина	51 (77)	5 (26)	19 (34)	18 (26)	P (T)	P (T)	P (T)	Активное варьирование мелодических и ритмических фигур в сочетании с небольшой длиной мелодии снижают длины максимальных повторов. IS-повтор длины 5 реализуется по схеме секвентного переноса. Механическое повторение второй половины куплета оговорено, но не внесено в нотный текст. Учет его существенно изменил бы характеристики мелодии (см. значения в скобках).
21	В.Макаров "Рос на опушке леса клен", 4/4, 2/4, слова Я.Шведова	73	20	26	24	TP	T	T	Длины повторов в пределах нормы. Максимальный IS-повтор обусловлен повторением трех последних строк куплета с вариацией на стыке. Все повторы позиционно согласованы.

стую структуру (куплет с повторением нескольких последних строк), их *средняя длина* (72) оказывается ниже средневывборочной (83). Иными словами, популярные мелодии реализуются чаще всего в виде *простых структур* и имеют относительно *небольшую длину*.

Средние длины максимальных повторов для популярных мелодий по всем измерениям оказываются несколько *выше* средневывборочных. Усреднение по табл.3 дает для длины максимального *I*- и *IS*-повтора значение 15 (средневывборочное 12.7), для длины *R*-повтора — 35 (26.5), для длины *S*-повтора — 31.6 (30.1). Заметим, что для конкретной мелодии длина максимального *R*-повтора может превзойти длину максимального *S*-повтора из-за включения в число кодируемых элементов тактовых черт и пауз.

Существенные отклонения от нормы в сторону уменьшения наблюдаются для длин максимальных *R*- и *S*-повторов при использовании *переменного размера* (см. № 2 и № 15 из табл.3). Для тех же типов повторов существенные отклонения в сторону увеличения встречаются в *вальсообразных* мелодиях (см. № 3, № 5 из табл.3). При этом часто наблюдается *компенсационный эффект*: понижение длины максимального *I*-повтора (вследствие активного варьирования основных интонаций) уравнивается повышением длин максимальных *R*- и *S*-повторов (см. №№ 3, 12, 18).

Для мелодий, длины которых существенно меньше средневывборочного значения, характерно снижение длин максимальных повторов по всем измерениям (см. № 7, № 20 из табл.3). Это не следует рассматривать как аномалию вследствие отмечавшегося выше факта зависимости в среднем длин максимальных повторов от длины мелодии.

Как минимум, в половине случаев максимальные повторы разных типов в популярных мелодиях *позиционно совмещены*. Отсутствуют *I*- , *IS*- и *R*-повторы, имеющие тип Н. Мало *R*- и *S*-повторов, имеющих тип Р.

Для того чтобы оттенить описанный выше обобщенный портрет популярной мелодии, в табл.4 приведены примеры мелодий, существенно отличающихся по своим характеристикам от тех, что представлены в табл.3. Мы не вправе характеризовать их как малопопулярные, но не исключаем того, что существенные отклонения от нормы по многим параметрам, допущенные, вполне возможно, намеренно в процессе поиска авторами новых выразительных средств, могли привести к отрицательному результату.

Мелодии, приведенные в табл.4, в основном построены по схеме "куплет + припев" и не содержат механических повторений. Длины всех максимальных повторов значительно ниже нормы. Часто имеет место позиционное рассогласование повторов по разным измерениям. Фигурируют редкие для интервальных повторов типы Н и ТН (см. №№ 1, 2, 5), свидетельствующие о том, что максимальный I-повтор реализуется на неинтересных речитативных и гаммаобразных фрагментах. Основные интонационные структуры очень короткие и слабо связаны друг с другом. I-повторы часто сопровождаются секвентным переносом.

Отмеченные эффекты во многих случаях объясняются *неудачным (или новаторским?) в ритмическом отношении* стихотворным текстом, в котором не только припев не похож на куплет, но и ослаблены связи между отдельными строками внутри каждого из них. При написании музыки на такие тексты приходится прибегать к переменному размеру (см. №№ 2, 5, 6, 7) и активно использовать (возможно, не всегда обоснованно) богатый арсенал ритмических средств (лиги, паузы и т.п.). Это неизбежно усложняет мелодику.

З а к л ю ч е н и е

На основе подборки из 216 песен советских композиторов предпринята попытка *совместного количественного анализа* трёх основных составляющих мелодии: *звуч-*

Т а б л и ц а 4

Примеры мелодий с ослабленными проявлениями повторности

№	Композитор, название, размер автор слов	Длина I-хар.	$I_{\text{шах}}$	$I_{\text{пад}}$	$I_{\text{сшах}}$	Тип I-пов.	Тип R-пов.	Тип S-пов.	Комментарии
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Т.Хренников "Поезд идет все быстрее", 4/4, слова М.Светлова	61	6	10	13	Н	ТН	Н	Сильно заниженные по сравнению с нормой длины повторов по всем измерениям объясняются "лозунговым" характером стихотворного текста с обилием восклицательных знаков и короткими ритмически неоднородными фразами: "Здравствуй! Вудем знакомы. Дай мне руку, незнакомый спутник мой!" Максимальный IS-повтор имеет крайне редкий тип Н и реализуется в виде слишком длинного гаммаобразного подъема: (1 + +1 + -) ⁴ .
2	В.Соловьев-Седой "Моя родная сторона", 3/4, 2/4, 4/4, слова С.Фогельсона	69	11	19	19	Н	Н	Н	Вновь пониженная повторность по всем измерениям, очень редкий тип Н у I-повтора, но фиксируется он теперь на очень длинном речитативном участке: (0 + -0 + +) ⁶ . Припев ритмически плохо стыкуется с куплетом и требует для своей реализации трехкратного изменения размера.
3	И.Дунаевский "Дорогой широкой", 3/4, слова В.Лебедева-Кумача	53	4	18	19	ТР	ТН	ТН	Неоднородный стихотворный ритм приводит к излишнему усложнению мелодии и укорочению всех повторов. Даже очень короткие I-повторы ритмически неэквивалентны и сопровождаются секвентным переносом.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	А.Новиков "Хороши колхозные покосы", 2/4, слова А.Фатьянова	81	9	18	17	P	P	TH	Ритмически неоднородный припев (число слогов по строкам: 9,12,7,9) приводит к несогласованию стихотворных и музыкальных пауз, а также к снижению длин R- и S-повторов. Рифмующиеся строки куплета не связаны I- и R-повторами.
5	В.Макаров "Огоньки", 4/4, 3/4, слова А.Пришельца	66	7	10	16	TH	TH	T	Ритмически неоднородная структура куплета (число слогов по строкам: 12,12,6,6,6,9) обуславливает использование переменного размера, что уменьшает длины всех повторов. Весьма редкий тип TH у IS-повтора связан с трехкратным тандемным повторением довольно невыразительного фрагмента (1 + -1 - +1 - +).
6	В.Захаров "Дороженька", 3/4, 2/4, слова народные	73	4	15	11	P	P	P	Стихотворный текст не навязывает использования переменного размера. Повторение двух последних строк куплета носит далеко не механический характер. Все это в совокупности приводит к снижению длин повторов.
7	С.Туликов "Советская Россия", 4/4, 3/2, 4/2, слова Л.Кондырева	105	10	14	21	P	P	H	Типичная мелодия из раздела "Песни о Родине и партии". Крайне неудачен в ритмическом отношении текст припева: Силою народною Вольная, свободная, Славься, русская земля, На века, на века! Правды мира ты оплот, Волей партии ты крепка. При переложении его на музыку композитору приходится трижды прибегать к изменению размера, что сильно снижает длины повторов.

ковысотной (интервальной — *I*), ритмической (*R*) и метрической (*S*). Каждая из составляющих характеризуется длиной максимального повтора и его типом, отражающим степень разнесённости по длине мелодии фрагментов, составляющих максимальный повтор. Рассматривается проявляющаяся в неявной форме взаимосвязь между длинами максимальных повторов по разным измерениям, их типами и степенью популярности мелодии.

Получены средневыворочные значения длин максимальных повторов по каждому из измерений, которые могут рассматриваться как *проявления повторности "в норме"*, и характеристики рассеяния. Показано, что интервальным (мелодическим) повторам почти всегда (примерно в 95% случаев) сопутствуют метрические и гораздо реже (примерно в 70% случаев) — ритмические, но обязательно максимальные. Каждый из типов повторов (*I, R, S*) тяготеет к своей схеме позиционной привязки (разнесённые, tandemные, наложившиеся) и несёт различную максимальную нагрузку. Максимальные *I*-повторы тесно связаны со структурой стихотворного текста, *R*-повторы — с тактовой структурой, *S*-повторы часто отражают жанрово-тематические особенности мелодии.

Выдвинута гипотеза о том, что существенные *отклонения от нормы* проявления повторности сразу по нескольким показателям могут *отрицательно повлиять* на степень популярности мелодии. С целью её экспериментального обоснования проведён более детальный анализ подборки из наиболее популярных мелодий и подборки из малоповторных мелодий. Показано, что популярные мелодии в среднем имеют меньшую длину, чем средневыворочное значение, простую структурную схему (куплет с механическим или варьированным повторением нескольких последних строк), простой ритмический рисунок стихотворного текста и несколько завышенные показатели повторности. У вальсообразных мелодий пониженная повторность по *I*-характеристике часто компенсируется повышенной повторностью по *R*- и *S*-характеристикам.

Малоповторные мелодии обычно характеризуются неоднородным в ритмическом отношении стихотворным текстом. Это вынуждает композитора использовать переменный размер и усложнять ритмический рисунок мелодии, что ведёт к уменьшению длин максимальных повторов, усложняет восприятие мелодии и в конечном итоге может отрицательно повлиять на степень её популярности.

В заключение отметим, что такая "тонкая" характеристика как "степень популярности мелодии" плохо поддается формализации. В данной работе мы рассмотрели лишь один из факторов, неявно связанных (по нашему мнению) с этой характеристикой, и постарались придать ему количественное выражение.

Л и т е р а т у р а

1. БОРОДА М.Г. К проблеме малых семантических единиц музыкального текста //Комплексное изучение музыкального творчества: концепция, проблемы, перспективы. — Тбилиси. 1985. — С. 135-167. (Тбилисская Гос.консерватория)

2. ЗАРИПОВ Р.Х. Построение частотных словарей музыкальных интонаций для анализа и моделирования мелодий //Проблемы кибернетики. — М.: Наука. 1984. — Вып. 41. — С. 207-252.

3. Выявление и анализ сходных фрагментов в музыкальных произведениях /И.В.Бахмутова, В.Д.Гусев, Р.Х.Зарипов, Т.Н.Титкова //Анализ символических последовательностей. — Новосибирск, 1985. — Вып. 113: Вычислительные системы. — С. 3-45.

4. БАХМУТОВА И.В., ГУСЕВ В.Д., ТИТКОВА Т.Н. Поиск и классификация несовершенных повторов в мелодиях песен //Ученые записки Тартуского гос. универ. — Тарту. — 1988. — Вып. 827: Квантитативная лингвистика и автоматический анализ текстов. — С. 20-32.

5. БАХМУТОВА И.В., ТИТКОВА Т.Н. Количественный анализ ритмических характеристик на материале

музыкальных текстов //Анализ временных рядов и символьных последовательностей. — Новосибирск, 1991. — Вып. 141: Вычислительные системы. — С. 77-92.

6. Analysis and compacting of musical texts /A.Bertoni, G.Naia, G.Mauri, M.Torelli //J. of Cybernetics. — 1978. — № 8. — P. 257-272.

7. KNUTH Donald E. The complexity of Song //Communications of the ACM. — 1984. — vol. 27, № 4. — P. 344-346.

8. ГУСЕВ В.Д. Характеристики символьных последовательностей //Машинные методы обнаружения закономерностей. — Новосибирск, 1981. — Вып. 88: Вычислительные системы. — С. 112-123.

9. LEMPEL A., ZIV J. On the complexity of finite sequences //IEEE Trans. on Inf. Th. — 1976. — Vol. IT-22, № 1. — P. 75-81.

10. Русские песни. Вып. 3. Песни советских композиторов. — Ленинград, Музгиз, 1955.

11. ЗУБКОВ А.М., МИХАЙЛОВ В.Г. Предельные распределения случайных величин, связанных с длинными повторениями в последовательности независимых испытаний //Теория вероятностей и её применения. — 1974. — Т. XIX, № 1. — С. 173-181.

Поступила в редакцию
16 октября 1997 года