

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ФОНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ КАЗАХСКОГО ЯЗЫКА ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

Общепризнано, что лингвистическая интерпретация речевого сигнала представляет собой очень сложный процесс. Структура звуков, используемых в человеческом общении, весьма различна в разных языках. При анализе звуков любого языка изучаются элементарные звуки – фонологические единицы и их взаимосвязь. Изучение функций абстрактных фонологических единиц осуществляется либо по отношению к отдельной единице, либо к их последовательности. Одним из аспектов данного изучения является формулирование фонологических правил, которые определенным образом воздействуют на фонологические единицы языка. Очевидно, что это чрезвычайно важно при автоматическом распознавании речи, т. е. любая известная закономерность языка, если она соответствующим образом реализована в системе распознавания, должна помогать улучшать характеристики этой системы. Однако остается много нерегулярных явлений речи, для которых не предложено никаких общих правил анализа, и которые, следовательно, затрудняют процедуру распознавания речи. Вообще говоря, чем больше фонологических структур языка будет выявлено и использовано в системе распознавания речи, тем выше будет качество анализа распознаваемого сигнала.

На основании обозначенных филологами правил звукосочетаний казахской речи выделены следующие фонологические закономерности, представленные в виде формальных правил [1].

В казахском языке имеются 9 гласных, в современном алфавите они обозначаются следующим образом: А, Ә, Е, О, Ө, Ү, Ү, Ы, И.

Здесь А, О, Ү, Ы и Е являются *опорными звуками* (фонемы), а Ә, Ө, Ү, И – их *сингармоническими вариантами* (аллофоны).

Основываясь на данные рис. 1, звуки казахского языка по своим артикуляционно-акустическим признакам можно разделить на четыре группы. А именно:

1. По горизонтальному положению языка:

- заднеязычные гласные: А, О, Ү, Ы;
- переднеязычные гласные: Ә, Ө, Ү, И.

2. По вертикальному положению языка:

- открытые гласные: А, О, Ә, Ө;
- закрытые гласные: Ү, Ы, Ү, И.

3. По участию губ:

- губные гласные: О, Ү, Ө, Ү;
- негубные гласные: А, Ы, Ә, И.

4. По тембральному признаку:

- твердые гласные: А, О, Ү, Ы;
- мягкие гласные: Ә, Ө, Ү, И.

Здесь гласный звук Е является срединным в попарно различных признаках гласных звуков в каждой группе [2].

Пусть А множество гласных звуков, где $A_1 = \{\Theta, \Theta, Y, I\}$, $A_2 = \{A, O, Y, Y\}$, $A_3 = \{A, O, \Theta, \Theta\}$, $A_4 = \{E\}$, $A_5 = \{Y, Y, Y, Y\}$, $A_6 = \{O, Y, \Theta, Y\}$, $A_7 = \{A, Y, \Theta, I\}$, т.е. $A_1 \subseteq A$, $A_2 \subseteq A$, $A_3 \subseteq A$, $A_4 \subseteq A$, $A_5 \subseteq A$, $A_6 \subseteq A$, $A_7 \subseteq A$.

Введены следующие переменные $a \in A$, $a_1 \in A_1$, $a_2 \in A_2$, $a_3 \in A_3$, $a_4 \in A_4$, $a_5 \in A_5$, $a_6 \in A_6$, $a_7 \in A_7$.

В казахском языке имеются 17 согласных звуков. В современном алфавите они обозначаются:

Система артикуляционных признаков согласных звуков

СОГЛАСНЫЕ	УЧАСТИЕ ГОЛОСА			МЕСТО ОБРАЗОВАНИЯ				СПОСОБ ОБРАЗОВАНИЯ			
	глухой	звонкий	сonorный	губной	альвеолярный	среднеязычный	увулярный	смычный	кругло-щелевой	плоско-щелевой	дрожащий
П	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
Б	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-
М	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-
Т	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-
Д	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-
Н	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-
Қ(К)	+	-	-	-	-	(+)	+	+	-	-	-
Ғ(Г)	-	+	-	-	-	(+)	+	+	-	-	-
Ң	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-
С	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
З	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-
Р	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-
Ш	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-
Ж	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-
Л	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+
Й	-	-	+	-	-	;	+	-	-	+	-
Ү	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-

Б, Ғ-Г, Д, Ж, З, Й, Қ-К, Л, М, Н, Ң, П, Р, С, Т, Ү, Ш. В традиционной фонетике казахского языка учитывая заметное между собой артикуляционное различие, согласные Қ-К, Ғ-Г обозначаются отдельными буквами (как самостоятельные звуки). Здесь же имея ввиду, что они являются сингармоническими вариантами одной фонемы, объединены в один звук.

Согласные по участию голосовых связок делятся на три группы: глухие, звонкие, сонорные, по способу образования согласные делятся на смычные и щелевые (в свою очередь щелевые делятся на плоско-щелевые, кругло-щелевые, дрожащие и боковые), по месту образования на губные, альвеолярные, среднеязычные и увулярные (см. табл.) [2].

Пусть В множество согласных звуков, где $B_1 = \{П, Т, Қ(К), С, Ш\}$, $B_2 = \{М, Н, Ң, Р, Л, Й, Ү\}$, $B_3 = \{Б, Д, Ғ(Г), З, Ж\}$, $B_4 = \{П, Б, М, Ү\}$, $B_5 = \{Т, Д, Н, С, З, Р, Ш, Ж, Л\}$, $B_6 = \{Қ(К), Ғ(Г)\}$, $B_7 = \{Қ(К), Ғ(Г), Н\}$, $B_8 = \{П, Б, М, Т, Д, Н, Қ(К), Ғ(Г), Ү\}$.

$B_9 = \{C, З, Ү, Ш, Ж, Й, Р, Л\}$ по признакам соответственно. $B_1 \subseteq B$, $B_2 \subseteq B$, $B_3 \subseteq B$, $B_4 \subseteq B$, $B_5 \subseteq B$, $B_6 \subseteq B$, $B_7 \subseteq B$, $B_8 \subseteq B$, $B_9 \subseteq B$. Введены следующие переменные $b \in B$, $b_1 \in B_1$, $b_2 \in B_2$, $b_3 \in B_3$, $b_4 \in B_4$, $b_5 \in B_5$, $b_6 \in B_6$, $b_7 \in B_7$, $b_8 \in B_8$, $b_9 \in B_9$.

Множество всевозможных звукосочетаний можно представить, в виде декартона произведения:

$$\Lambda^* = \bigcup_{k=0}^{\infty} \Lambda^k = \Lambda^0 \cup \Lambda^1 \cup \Lambda^2 \cup \Lambda^3 \cup \Lambda^4 \dots \quad (1)$$

Фонологическую единицу «слово» можно представить в виде согласного или гласного или их последовательности, длина которой больше или равна единице. В формальном виде это утверждение можно записать в виде:

$$\Lambda^+ = (A \cup B)^+, \quad (2)$$

где $\Lambda^+ \subseteq \Lambda^*$ - множество слов во множестве звуков казахского языка.

Пусть $\alpha \subseteq \Lambda^+$, $\beta \subseteq \Lambda^+$, $\chi \subseteq \Lambda^+$, $\delta \subseteq \Lambda^+$, $\phi \subseteq \Lambda^+$, $\gamma \subseteq \Lambda^+$, $\eta \subseteq \Lambda^+$, $\mu \subseteq \Lambda^+$, $\nu \subseteq \Lambda^+$, $o \subseteq \Lambda^+$, $\theta \subseteq \Lambda^+$, $\vartheta \subseteq \Lambda^+$, $\vartheta \subseteq \Lambda^+$, $\rho \subseteq \Lambda^+$, $\sigma \subseteq \Lambda^+$, $\varsigma \subseteq \Lambda^+$, $\tau \subseteq \Lambda^+$, $v \subseteq \Lambda^+$, $\omega \subseteq \Lambda^+$, ε - пустое слово.

Можно сформулировать следующие фонологические закономерности:

1. На стыке двух глухих согласных в слове или в случае, когда одно слово заканчивается на глухой согласный, а другое начинается с глухого согласного звука, оба этих согласных звука остаются глухими.

$$\forall \alpha, \alpha = \alpha_1 x \& \alpha_1 \neq \varepsilon \& x \in B_1,$$

где α - это последовательность звуков, заканчивающаяся на глухой согласный.

$$\forall \beta, \beta = y \cdot \beta_1 \& y \in B_1,$$

где β - это последовательность звуков, начинаяющаяся на глухой согласный. Тогда стык этих двух согласных можно представить в виде:

$$\alpha \cdot \beta = (\alpha_1 \cdot x) \cdot (y \cdot \beta_1) \& z \in B_1, \quad (3)$$

$$\text{где } z = y \Big|_{b_1}^{b_1}.$$

Пример: Стык двух глухих согласных возможен в корне слова акпан, акпар, на стыке корня и постфиксса (суффикса или окончания) атақпен, бақпен, на стыке двух слов ак сандық, ак саусақ. Во всех этих случаях превращения глухих согласных не происходит.

2. На стыке двух согласных глухого и сонорного в слове или в случае, когда одно слово заканчивается на глухой согласный, а другое начинается с сонорного согласного, глухой согласный остается глухим, а сонорный согласный остается, если он не относится к смычным согласным (м, н, н).

$$\forall \chi, \chi = \chi_1 \cdot x \& \chi_1 \neq \varepsilon \& x \in B_1,$$

где χ - это последовательность звуков, заканчивающаяся на глухой согласный.

$$\forall \delta, \delta = y \delta_1 \& y \in B_2 \cap \overline{B}_8,$$

где δ - это последовательность звуков, начинаяющаяся на сонорный согласный. Тогда стык этих двух согласных, можно представить в виде:

$$\chi \delta = (\chi_1 \cdot z) \cdot (y \cdot \delta_1) \& z \in B_1, \quad (4)$$

$$\text{где } z = x \Big|_{b_1}^{b_1}.$$

Пример: Стык двух согласных глухого и сонорного возможен в корне слова асмар, на стыке корня и постфиксса (суффикса или окончания) бетмоншаш, на стыке двух слов жас мал. Во всех этих случаях превращения согласных не происходит.

2.1. На стыке двух согласных глухого и сонорного в слове или на стыке двух слов, если сонорный согласный по способу образования относится к смычным согласным (м, н, н), тогда глухой согласный, заменяется на парный ему звонкий согласный.

$$\forall \phi, \phi = \phi_1 \cdot x \& \phi_1 \neq \varepsilon \& x \in B_1,$$

где ϕ - это последовательность звуков, заканчивающаяся на глухой согласный.

$$\forall \gamma, \beta = y \cdot \gamma_1 \& y \in B_2 \cap B_8,$$

где γ - это последовательность звуков, начинаяющаяся на сонорный смычный согласный. Тогда стык этих двух согласных, можно представить в виде:

$$\phi \gamma = (\phi_1 \cdot z) \cdot (y \cdot \gamma_1) \& z \in B_1, \quad (4.1)$$

$$\text{где } z = x \Big|_{b_1}^{b_3}.$$

Пример: Стык двух согласных глухого и сонорного возможен на стыке двух корней Бекмагамбет (произносится Бегмагамбет), Ақнұр (произносится Ағнұр) в сложных словах и на стыке двух слов ак мандай (произносится ағмандаі), көк найза (произносится қөңайза). Во всех этих случаях происходит превращения согласных.

3. На стыке двух согласных глухого и звонкого в слове или на стыке двух слов, глухой согласный становится звонким, а звонкий согласный остается звонким.

$$\forall \eta, \eta = \eta_1 \cdot x \& \eta_1 \neq \varepsilon \& x \in B_1,$$

где η - это последовательность звуков, заканчивающаяся на глухой согласный.

$$\forall \mu, \mu = y \cdot \mu_1 \& y \in B_3,$$

где μ - это последовательность звуков, начинаяющаяся на звонкий согласный. Тогда стык этих двух согласных, можно представить в виде:

$$\eta \mu = (\eta_1 \cdot z) \cdot (y \cdot \mu_1) \& z \in B_1, \quad (5)$$

$$\text{где } z = x \Big|_{b_1}^{b_3}.$$

Пример: Стык двух согласных глухого и звонкого возможен в корне слова ақбар (произносится акпар), на стыке корня и постфиксса не встречается, на стыке двух слов ақ_гүл (произносится ақкүл), көк байрак. произносится (көгбайрак). Во всех этих случаях происходит превращение звонкого согласного в глухой согласный

4. Закон сингармонизма

4.1. Если в последнем слоге корня твердый гласный, то последующие дополнения (суффиксы, окончания), то же будут содержать твердые гласные.

$$\forall \nu, \nu = x \cdot \nu_1 \& \nu_1 \neq \varepsilon \& x \in A_2,$$

где ν – это последовательность звуков, содержащая твердый гласный x .

$$\forall o, o = o_1 \cdot y \& y \in A_2,$$

где o – это последовательность звуков, содержащая твердый гласный y .

Тогда стык этих двух последовательностей, можно представить в виде:

$$\nu o = (\nu_1 \cdot x) \cdot (z \cdot o_1) \& z \in A_2, \quad (5.1)$$

где $z = y \Big|_{a2}^{a2}$.

Пример: Мал-шы-лық-та, ал-ды-рың-дар, кала-лық-тар-ға, жылқы-лар-ымыз.

4.2. Если в последнем слоге корня мягкий гласный, то последующие дополнения (суффиксы, окончания), то же будут содержать мягкие гласные.

$$\forall \theta, \theta = x \cdot \theta_1 \& \theta_1 \neq \varepsilon \& x \in A_1,$$

где θ – это последовательность звуков, содержащая мягкий гласный x .

$$\forall \vartheta, \vartheta = y \cdot \vartheta_1 \& y \in A_1,$$

где ϑ – это последовательность звуков, содержащая мягкий гласный y . Тогда стык этих двух согласных, можно представить в виде:

$$\theta \cdot \vartheta = (\theta_1 \cdot x) \cdot (z \cdot \vartheta_1) \& z \in A_1, \quad (5.2)$$

где $z = y \Big|_{a1}^{a1}$.

Пример: мұғалім-дер-ғе, қате-лік-тер-ді, мек-теп-тер-ін-ді, кел-тір-ін-дер.

4.3. Если корень заканчивается на гласный или сонорный звук, то последующие дополнения (суффиксы, окончания) будут начинаться с сонорного или звонкого звука.

$$\forall \rho, \rho = \rho_1 \cdot x \& \rho_1 \neq \varepsilon \& x \in A \cup B_2,$$

где ρ – это последовательность звуков, заканчивающаяся на гласный или на сонорный согласный.

$$\forall \sigma, \sigma = y \cdot \sigma_1 \& y \in B_2 \cup B_3,$$

где β – это последовательность звуков, начинающаяся на сонорный согласный или звонкий согласный. Тогда стык этих двух звуков, можно представить в виде:

$$\rho \cdot \sigma = (\rho_1 \cdot x) \cdot (y \cdot \sigma_1) \& y \in B_2 \cup B_3. \quad (5.3)$$

Пример: бала-лар, бала-ға, бала-да, бала-мен, жел-дін, жел-ге, жел-мен.

4.4. Если корень заканчивается на звонкий согласный, то последующие дополнения (суффиксы, окончания) будут начинаться со звонкого согласного звука.

$$\forall \varsigma, \varsigma = \varsigma_1 \cdot x \& \varsigma_1 \neq \varepsilon \& x \in B_3,$$

где ς – это последовательность звуков, заканчивающаяся на звонкий согласный.

$$\forall \tau, \tau = y \cdot \tau_1 \& y \in B_3,$$

где τ – это последовательность звуков, начинающаяся на звонкий согласный. Тогда стык этих двух звуков, можно представить в виде:

$$\varsigma \cdot \tau = (\varsigma_1 \cdot x) \cdot (z \cdot \tau_1) \& z \in B_3, \quad (5.4)$$

где $z = y \Big|_{b3}^{b3}$.

Пример: Қаз-дар, қаз-ға, жез-ге, жез-ді, мұқтаж-дық, уәж-дер, уәж-ге, уәж-ди.

4.5. Если корень заканчивается на глухой согласный, то последующие дополнения (суффиксы, окончания) будут начинаться с глухого согласного звука.

$$\forall \upsilon, \upsilon = \upsilon_1 \cdot x \& \upsilon_1 \neq \varepsilon \& x \in B_1,$$

где υ – это последовательность звуков, заканчивающаяся на глухой согласный.

$$\forall \omega, \omega = y \cdot \omega_1 \& y \in B_1,$$

где β – это последовательность звуков, начинающаяся на глухой согласный. Тогда стык этих двух звуков, можно представить в виде:

$$\upsilon \cdot \omega = (\upsilon_1 \cdot x) \cdot (z \cdot \omega_1) \& z \in B_1, \quad (5.5)$$

где $z = y \Big|_{b1}^{b1}$.

Пример: мақсат-пен, мақсат-тан, мақсат-қа.

Формы фонологических правил разнообразны. Мировая практика показала, что определенные категории правил являются абсолютно необходимыми в любой системе распознавания речи. Число правил несущественно, хотя некоторые системы содержат более 200 выделенных фонологических правил, но результаты, полученные от их применения имеют первостепенное значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Қазақ грамматикасы. Фонетика, сөзжасам, морфология, синтаксис. Астана, 2002. С. 65-98

2. Шәріпбаев А., Төреканов С. Қазақ тілі даусты дыбыстар жүйесінің математикалық моделі // Вестник ЕНУ. 2002. № 3-4.

Резюме

Қазақ тілінің фонологиялық заңдылықтары қаралған

және олар сөйлеуді автоматты тануда қолдану үшін формалды ережелер түрінде беріледі.

Summary

This article include phonologic rules of Kazakh language and introduce there in formal rule for automatic speech recognition in future.

УДК 681.3.809.43.2

Евразийский университет

Поступила 10709708г.