

БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЦИПРОКНОЙ КООРДИНАЦИИ ТЕХНИКИ ЛЫЖНЫХ ПЕРЕДВИЖЕНИЙ СПОРТСМЕНОВ

**Гусейнов Д.И.**

магистр пед. наук,
Белорусский
государственный
университет
физической культуры

**Васюк В.Е.**

канд. пед. наук, доцент,
Белорусский
национальный
технический
университет

В лыжных видах спорта одной из составляющих, влияющих на эффективность двигательных действий спортсменов, является качество перекрестных движений верхних и нижних конечностей в повторяющихся локомоциях, критерием которых является биомеханическая рациональность и экономичность лыжных техник. Поэтому проблема, связанная с разработкой средств и подходов к биомеханической оценке reciprocity движения, представляет особый интерес, поскольку результаты исследований позволяют судить о возможных резервах совершенствования технической подготовленности спортсменов и соревновательной результативности в целом.

Ключевые слова: одновременный двухшажный коньковый ход; перекрестные движения; пространственно-временные и динамические параметры; интеллектуальные сенсорные системы.

BIOMECHANICAL ASSESSMENT OF RECIPROCAL COORDINATION OF SKI MOVEMENTS TECHNIQUE OF ATHLETES

One of the components that affect the effectiveness of motor actions of athletes in ski sports is the quality of cross-movements of the upper and lower limbs in repetitive locomotions, the criterion of which is the biomechanical rationality and economy of ski techniques. Therefore, the problem associated with the development of tools and approaches to the biomechanical assessment of the reciprocity of movements is of particular interest, since the results of research allow us to judge the possible reserves for improving both the technical readiness of athletes and competitive performance.

Keywords: single time G4; cross movements; spatio-temporal and dynamic parameters; smart sensor systems.

Введение. Эффективное выполнение двигательных действий с точки зрения их биомеханической структуры в соотношении с затрачиваемыми энергетическими ресурсами и соревновательным результатом в циклических видах спорта во многом определяется координационными способностями и зависит от степени согласованности отдельных движений, выполняемых различными сегментами тела спортсмена. Способность поддерживать скорость посредством согласованных движений позволяет не только экономить драгоценные ресурсы организма, но и в значительной степени повысить производительность движений на акцентируемых участках рабочей амплитуды.

В циклических видах спорта важным критерием результативности является время прохождения соревновательной дистанции, что, в свою очередь, зависит от скорости ее преодоления. Величина скорости, развиваемой при прохождении соревновательной дистанции, зависит от ряда как физиологических, так и биомеханических факторов. Специа-

листами высказывается мнение, что одним из наиболее важных факторов является экономичность отдельных движений, а также целостность системы двигательных действий, определяемая как сумма затрачиваемой энергии на единицу скорости (средней или мгновенной) [1].

Одним из направлений повышения экономичности техник лыжных передвижений является ее биомеханическая оптимизация, проявляемая в согласованности и соразмерности отдельных двигательных действий по кинематическим и динамическим показателям. Оптимизированная подобным образом техника лыжных передвижений позволит повысить ее эффективность, поскольку сэкономленные энергетические ресурсы спортсмена, ранее затрачиваемые на выполнение дополнительных компенсаторных движений в условиях воздействия негативного силового и инерционного воздействия, вызванного несогласованной двигательной деятельностью, могут быть затрачены на развитие больших пропульсивных сил, способствующих ускоренному прохождению со-

ревновательной дистанции. Однако для того, чтобы обеспечить эффективное и рациональное совершенствование техники с точки зрения реципрокности движений, необходимо определить, какой конкретно технический компонент нуждается в оперативной коррекции. Для этого необходимо использовать соответствующие измерительные средства в рамках четко сформулированных методических подходов.

Реципрокная координация (от лат. *reciprocus* – возвращающийся, взаимный) имеет несколько определений. В частности, с физиологической точки зрения реципрокная координация представляет собой способность к согласованной активности нервных центров функциональных систем, при которой возбуждение нервных центров одной системы вызывает торможение нервных центров другой, антагонистической системы. Кроме того, термин «Реципрокная координация» применяется и для обозначения сложных форм координации движений [2]. Реципрокная координация характеризует способность к рациональному с биомеханической точки зрения управлению попеременными и одновременными движениями. Это подтверждается наличием механизма реципрокной иннервации, суть которого заключается в сопряженной иннервации (рефлекторный механизм координации двигательных актов), обеспечивающей согласованную деятельность мышц-антагонистов (например, одновременное сокращение сгибателей сустава и расслабление его разгибателей) [3–5].

На сегодняшний день в лыжных спортивных дисциплинах (гонка преследования, спринт, командная гонка, марафон) номенклатура используемых техник передвижений на лыжах весьма широка [6]. Однако стоит отметить, что все способы передвижения на лыжах, представленные в официальной классификации, объединяет одно: техника лыжных движений представляет собой совокупность контраполатеральных и синхронных движений, выполняемых нижними и верхними конечностями в рамках определенной фазовой и темпо-ритмовой структуры. Техника лыжных передвижений отличается повышенной координационной сложностью и повышенной энергоемкостью, что определено аспектами соревновательной деятельности и особенностями окружающей среды. Биомеханическая эффективность используемой техники лыжных передвижений зависит также от особенностей соревновательной дистанции. Кроме того, лыжник после выполнения отталкивания находится в состоянии одноопорного скольжения, которое характеризуется «постуральной уязвимостью» [7]. Дело в том, что даже незначительные двигательные различия в движениях контраполатеральных конечностей способствуют возникновению негативного инерционного воздействия, что повышает риск потери равновесия. Вследствие этого спортсмену с неоптимизированной двигательной структурой необходимо генерировать большее мышечное напряжение и выполнять дополнительные компенсаторные движения для обеспечения данной устойчивости. Это свидетельствует о том, что в лыжном спорте кри-

тически важно добиться оптимального технического исполнения при передвижении на лыжах, вне зависимости от используемого стиля.

К внешним проявлениям реципрокной координации лыжных движений относятся: пространственные (суставные углы, траектория движения звеньев и т. д.), временные (абсолютная и относительная длительность цикла, абсолютная и относительная длительность опорной и безопорной фазы движения, внутрицикловые временные соотношения) и пространственно-временные (линейные и угловые скорости и ускорения тела лыжника, а также отдельных его сегментов) значения. Внутренние проявления характеризуются динамическими параметрами движений (развиваемое усилие, импульс силы, математический градиент силы). Анализ степени реципрокности движений осуществляется прежде всего с точки зрения симметричности кинематических и динамических показателей при выполнении контраполатеральных, синхронных и перекрестных движений нижними и верхними конечностями. При этом наибольшей ценностью для эффективной педагогической коррекции определенных аспектов технического исполнения являются данные, зарегистрированные непосредственно при выполнении соревновательного упражнения в естественных условиях управляющей среды. Для решения обозначенной задачи мы предлагаем использовать беспроводные интеллектуальные программируемые тензометрические датчики, инstrumentированные в лыжные палки и лыжероллеры. Подобные устройства позволяют регистрировать и рассчитывать основные и наиболее информативные в оценке реципрокности движений биомеханические параметры исходя из величины деформации инвентаря в фазе отталкивания. Малые габариты и незначительный вес датчиков практически не влияют на техническое исполнение лыжных передвижений, что повышает достоверность регистрируемых данных.

Основная часть. Представленные результаты дополняют ранее выполненные исследования, в рамках которых осуществлялся анализ показателей, характеризующих реципрокность движений спортсмена при преодолении отрезка лыжной дистанции одновременным одношажным коньковым стилем [8].

В продолжение исследований в эксперименте участвовал тот же спортсмен (биатлонист с опытом выступлений на международных соревнованиях), который в трех попытках преодолевал отрезок дистанции 200 м с темпом 20 циклов/мин с использованием одновременного двухшажного конькового хода. В качестве измерительных инструментов использовались беспроводные программируемые интеллектуальные тензометрические датчики (4 шт.), инstrumentированные в лыжные палки и лыжероллеры, а также высокоскоростная видеокамера для выделения основных фаз лыжных движений.

Величина уклона контрольного участка трассы выбиралась в соответствии с представлениями о гравитационном воздействии на эффективность и про-

изводительность движений спортсмена при выполнении лыжных локомоций. Выбранная величина уклона трассы являлась оптимальной с точки зрения изменения внутрициклового ускорения. При меньшей величине абсолютного уклона эффективность отталкивания, проявляемая в амплитудных характеристиках (величина развиваемого усилия) и их производных значениях (мощность и скорость нарастания усилия) снижается пропорционально приобретаемой скорости движения тела спортсмена. При большей величине – производительность отталкивания, демонстрируемая спортсменом, максимальна, однако она сокращается вследствие повышенной утомляемости. Таким образом, была обеспечена дистанционная интенсивность прохождения контрольных отрезков, величина темпа при которой составляла 20 циклов/мин, с акцентом на мощное и выраженное отталкивание при взаимодействии спортсмена с лыжероллерами и лыжными палками.

Обработка массива экспериментальных данных осуществлялась с применением программных продуктов Microsoft (Microsoft Office) и Kinovea. По результатам обработки данных были проанализированы исходные амплитудные и временные параметры, а также их производные значения, характеризующие степень реципрокности движений верхними и нижними конечностями в структуре техники лыжных передвижений.

Особенности анализируемых биомеханических параметров детальнее раскрывается на рисунках 1, 2.

Результаты исследования. В таблицах 1–3 представлены количественные данные, характеризующие реципрокную координацию спортсмена в лыжных передвижениях с использованием одновременного двухшажного конькового хода.

Для анализа результатов использовался относительный коэффициент, позволяющий количественно оценить разницу пока-

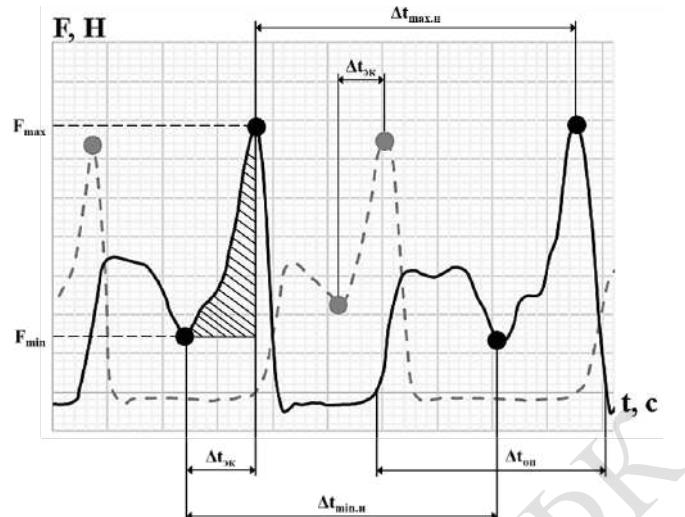


Рисунок 1. – Параметры, характеризующие согласованность движений ног

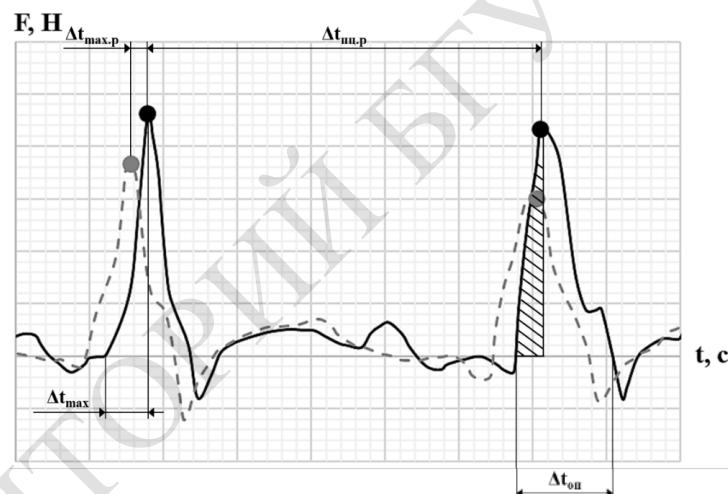


Рисунок 2. – Параметры, характеризующие согласованность движений рук

зателей, характеризующих суставные движения контролатеральными конечностями. Значения коэффициента рассчитывались посредством вычитания из единицы результата деления преобладающего значения соответствующего параметра на уступающее. В случае преобладания величины максимального усилия, развиваемого правой рукой/ногой над левой, расчет производится следующим образом (1) [8]:

$$K = \left(1 - \frac{F_{\max.\text{пр}}}{F_{\max.\text{лев}}} \right) \times 100 \%, \quad (1)$$

где K – коэффициент, значение которого отражает величину преобладания одного показателя относительного другого, %;

$F_{\max.\text{пр}}$ – величина усилия, развиваемого правой рукой/ногой при отталкивании, Н;

$F_{\max.\text{лев}}$ – величина усилия, развиваемого левой рукой/ногой при отталкивании, Н.

Одновременный двухшажный коньковый ход является относительно несимметричным, поскольку на фазы отталкивания каждой из нижних конечностей спортсмен выполняет одно отталкивание лыжными палками. Подобное обстоятельство характеризует рассматриваемый коньковый ход как сравнительно нескоростной, используемый преимущественно на местности с незначительным уклоном. Специфика рассматриваемого хода предъявляет особые требования к согласованности движений спортсмена для обеспечения эффективности прохождения соревновательной дистанции.

Таблица 1.– Биомеханические параметры движений нижними конечностями, характеризующие реципрокную координацию

№	$\Delta t_{оп}, \text{с}$		$\Delta t_{зк}, \text{с}$		$F_{min}, \text{Н}$		$F_{max}, \text{Н}$		$F_{р}, \text{Н/с}$	
	пр.	лев.	пр.	лев.	пр.	лев.	пр.	лев.	пр.	лев.
1	1,42	1,39	0,56	0,67	169,0	330,5	969,4	857,9	1437,8	786,9
2	1,78	1,34	0,72	0,50	195,6	303,4	918,8	870,6	1004,6	1139,5
3	2,04	1,69	0,83	0,60	180,8	350,5	925,6	864,9	895,1	859,8
4	1,62	1,40	0,69	0,57	183,5	292,6	875,2	806,6	999,3	904,4
5	1,46	1,74	0,65	0,52	181,1	340,0	920,3	856,9	1135,2	1001,2
6	1,69	1,31	0,80	0,67	169,5	301,9	882,0	852,4	893,8	825,0
7	2,10	1,51	0,86	0,71	179,8	289,3	891,2	850,8	827,4	794,1
8	1,84	1,50	0,79	0,49	178,8	288,6	990,2	836,2	1022,5	1117,9
9	1,85	1,77	0,71	0,56	182,6	316,0	995,6	870,4	1139,9	991,4
10	2,11	1,53	0,71	0,59	194,7	323,4	915,6	810,4	1017,2	825,2
11	1,71	1,61	0,64	0,48	177,7	305,9	894,9	908,8	1128,1	1246,9
12	1,17	1,58	0,58	0,59	175,9	295,9	949,7	864,2	1331,1	960,1
$\bar{X} \pm \sigma$	1,73±0,29	1,53±0,15	0,71±0,10	0,58±0,07	180,8±8,2	311,5±20,6	927,4±40,8	854,2±27,4	1069,3±178,6	954,4±150,4

Таблица 2.– Биомеханические параметры движений верхними конечностями, характеризующие реципрокную координацию

№	$\Delta t_{оп}, \text{с}$		$\Delta t_{max}, \text{с}$		$F_{max}, \text{Н}$		$F_{р}, \text{Н/с}$	
	пр.	лев.	пр.	лев.	пр.	лев.	пр.	лев.
1	0,55	0,46	0,28	0,23	554,5	438,8	999,7	947,3
2	0,63	0,63	0,15	0,28	518,5	359,6	827,9	573,8
3	0,64	0,64	0,32	0,18	574,5	368,4	890,7	575,3
4	0,67	0,61	0,29	0,28	452,8	325,1	671,8	533,5
5	0,65	0,65	0,30	0,30	491,6	390,7	755,3	601,1
6	0,61	0,70	0,37	0,34	467,5	333,6	769,3	474,1
7	0,63	0,49	0,29	0,19	508,7	376,8	802,1	768,4
8	0,61	0,52	0,26	0,24	514,6	300,4	840,8	574,8
9	0,64	0,64	0,26	0,23	519,4	420,0	807,8	657,2
10	0,55	0,53	0,20	0,26	430,8	326,4	776,9	618,7
11	0,51	0,55	0,20	0,26	479,6	368,4	934,8	664,0
12	0,60	0,54	0,17	0,20	540,5	381,5	901,7	712,3
$\bar{X} \pm \sigma$	0,61±0,05	0,58±0,07	0,26±0,07	0,25±0,05	504,4±42,1	365,8±40,3	831,6±89,0	641,7±124,5

Таблица 3 – Биомеханические параметры движений нижними и верхними конечностями, характеризующие реципрокную координацию

№	$\Delta t_{max,н}, \text{с}$	$\Delta t_{min,н}, \text{с}$	$\Delta t_{max,р}, \text{с}$	$\Delta t_{пц,р}, \text{с}$		$\Delta t_{ц,max,н}, \text{с}$		$\Delta t_{ц,min,н}, \text{с}$	
				пр.	лев.	пр.	лев.	пр.	лев.
1	1,31	1,24	0,11	2,66	2,75	2,80	2,66	2,67	2,83
2	1,17	1,40	0,03	2,97	2,80	2,91	3,23	2,85	3,13
3	1,49	1,69	0,19	2,78	2,91	2,85	2,85	2,89	2,89
4	1,49	1,69	0,06	2,71	2,69	2,88	2,63	2,52	2,67
5	1,12	1,28	0,07	2,91	2,79	2,83	2,20	2,90	2,94
6	1,32	1,43	0,19	2,67	2,85	2,84	3,12	2,67	3,04
7	1,38	1,35	0,06	2,95	2,81	2,77	3,07	2,81	3,05
8	1,23	1,14	0,17	2,77	2,84	2,81	3,08	3,09	3,03
9	1,37	1,84	0,07	2,74	2,80	2,90	2,61	2,66	3,10
10	1,42	1,27	0,04	2,91	2,92	2,89	3,13	2,72	3,18
11	1,15	1,39	-0,02	2,84	2,77	2,85	3,12	2,86	2,70
12	1,39	1,62	0,02	-	-	-	-	-	-
$\bar{X} \pm \sigma$	1,32±0,13	1,44±0,22	0,08±0,07	2,81±0,11	2,81±0,07	2,85±0,05	2,88±0,32	2,79±0,16	2,96±0,17

Данные, отражающие деятельность нижних и верхних конечностей при прохождении отрезка с использованием одновременного двухшажного конькового хода (таблицы 1, 2), свидетельствуют о преобладании правых конечностей над левыми. Это, прежде всего, подтверждается преобладанием длительности опорной части ($\Delta t_{оп}$) правой ноги на 13,07 %, а также незначительным преобладанием длительности опорной части правой руки на 5,17 %. Установлено преобладание длительности фазы отталкивания ($\Delta t_{зк}$) правой ногой на 22,41 %. При этом максимальная величина развиваемого усилия правой ногой в момент завершения отталкивания (F_{max}) на 8,57 % больше максимальной величины развиваемого усилия левой ногой. Отмечено значительно большее относительное преобладание максимальной величины развиваемого правой рукой усилия при отталкивании (F_{max}) – на 37,89 %. Величины градиентов развиваемых правой ногой и рукой усилий (F_{rp}) на 12,04 и 29,59 % больше величин градиентов, развиваемых левыми конечностями в цикле лыжных локомоций. Приведенные факты обретают большее негативное значение вследствие выполнения отталкивания лыжными палками в рамках фазы отталкивания правой ногой спортсмена. Таким образом, имеются все основания констатировать существенную координационную асимметрию с точки зрения временных и амплитудных биомеханических параметров с преобладанием двигательных характеристик правых конечностей, что существенно дестабилизирует траекторию движения тела спортсмена и, как следствие, повышает «энергетическую стоимость» данного конькового хода в исполнении спортсмена. Для стабилизации курса движения спортсмену необходимо совершать дополнительные компенсаторные движения туловищем (поворот туловища вокруг продольной оси в противоположном совокупному отталкиванию верхними и нижними конечностями (основной шаг) направлении – в данном случае против часовой стрелки), а также маховые движения верхними конечностями в безопорной части.

Совместная двигательная деятельность нижних и верхних конечностей также может быть охарактеризована как недостаточно упорядоченная и согласованная. Установлено различие в длительности полуциклах движений нижними конечностями, ограниченных минимальными и максимальными величинами развиваемых усилий в опорной части ($\Delta t_{max,n}$, $\Delta t_{min,n}$) – 9,09 %, что может свидетельствовать об отсутствии выработанного и консолидированного временного стереотипа. Однако соразмерность длительности полных циклов движений нижними конечностями, ограниченных минимальными и максимальными величинами развиваемых усилий в опорной части ($\Delta t_{ц,max,n}$, $\Delta t_{ц,min,n}$), существенно выше. Также зафиксировано существенное временное расхождение между моментами, характеризующими максимальные величины усилия, развиваемого верхними конечностями при отталкивании, в сравнении с усредненной длительностью опорной части ($\Delta t_{max,p}$) –

13,45 %. Несмотря на это, длительность полного цикла движений верхними конечностями идентична ($\Delta t_{ц,p}=2,81$ с).

Заключение. Одним из основных факторов, лимитирующим повышение соревновательной результативности спортсменов, специализирующихся в лыжных видах спорта, является техническая подготовленность [8]. Техника лыжных передвижений представляет собой целостную упорядоченную двигательную структуру, нарушение которой (например, асимметрия при выполнении отталкиваний и скользящих шагов) неизбежно ведет к существенному снижению эффективности лыжных локомоций [9–11]. Особенно это касается техники одновременного двухшажного конькового хода, в рамках которого отталкивание палками осуществляется через шаг, что определяет данный ход как асимметричный и требует от спортсмена высокого уровня технического мастерства и внимания к деталям. Спортсмену необходимо от цикла к циклу в фазе отталкивания демонстрировать высокую мощность движений верхними и нижними конечностями, а также обеспечивать биомеханическую оптимизация отдельных суставных движений во времени и по характеру развиваемых усилий таким образом, чтобы его продвижение было более прямолинейным и скомпенсированным относительно возникающего инерционного воздействия. Благодаря этому снизятся энергетические затраты, прежде расходуемые на чрезмерную мышечную фиксацию в отдельных сочленениях с целью сокращения негативного влияния инерции на тело спортсмена.

ЛИТЕРАТУРА

- Аикин, В. А. Беговая экономичность и особенности ее повышения у легкоатлетов-стайеров (зарубежный опыт) / В. А. Аикин, Ю. В. Корягина // Наука и спорт. – 2014. – № 3 (4). – С. 86–90.
- Мещеряков, Б. Г. Большой психологический словарь / Б. Г. Мещеряков, В. П. Зинченко. – СПб.: Прайм-ЕвроЗнак, 2003. – 632 с.
- Шеррингтон, Ч. С. Интегративная деятельность нервной системы / Ч. С. Шеррингтон. – Л.: Наука. Ленинградское отделение, 1969. – 390 с.
- Экклс, Дж. Физиология нервных клеток / Дж. Экклс. – М. : Иностранная лит., 1959. – 299 с.
- Костюк, П. Г. Физиология центральной нервной системы / П. Г. Костюк. – Киев : Вища школа, 1977. – 320 с.
- Identification of Cross-Country Skiing Movement Patterns Using Micro-Sensors / F. Marsland [et al.] // Sensors. – 2012. – №. 12. – Р. 5047–5066.
- Гардагина, Л. Г. Техника лыжных ходов: метод. указания / Л. Г. Гардагина. – М. : МИИТ, 2013. – 89 с.
- Гусейнов, Д. И. Подходы к оценке реципрокной координации движений спортсменов с использованием интеллектуальных сенсорных систем / Д. И. Гусейнов // Мир спорта. – 2020. – № 3 (80). – С. 29–34.
- Сергеев, Г. А. О некоторых факторах, лимитирующих результат в лыжной гонке квалифицированных биатлонистов России / Г. А. Сергеев // Ученые записки ун-та им. П. Ф. Лесгафта. – 2018. – № 6 (160). – С. 220–224.
- Донской, Д. Д. Биомеханика с основами спортивной техники / Д. Д. Донской. – М. : Физкультура и спорт, 1971. – 288 с.
- Назаренко, Л. Д. Точность двигательных действий как один из параметров физического состояния человека / Л. Д. Назаренко // Ученые записки «Морфофункциональные взаимосвязи и адаптация», серия «Биология и медицина». – 2000. – № 1 (4). – С. 41–45.
- Бальсевич, В. К. Конверсия высоких технологий спортивной подготовки как актуальное направление совершенствования физического воспитания и спорта для всех / В. К. Бальсевич // Теория и практика физической культуры. – 1993. – № 4. – С. 21–23.

10.12.2020