

Определение зависимости периодов шага от скорости у индивида старше пятнадцати лет

О.И. Косухина¹, Е.Е. Фомина², С.В. Леонов^{1, 3}

¹ Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация;

² Тверской государственный технический университет, Тверь, Российская Федерация;

³ 111 Главный государственный центр судебно-медицинских и криминалистических экспертиз, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Вопросы идентификации личности являются актуальными в числе задач, решаемых при использовании данных камер видеонаблюдения и фиксации. При невозможности провести идентификацию по лицу актуальной становится проведение идентификации по походке.

Цель исследования — определение цикла шага как одного из параметров идентификации личности по походке.

Материалы и методы. Проведено одноцентровое наблюдательное выборочное неконтролируемое исследование с участием 92 испытуемых. Итогом работы стала зарегистрированная База данных характеристик цикла шага (Свидетельство о государственной регистрации № 2022623085). Первичной конечной точкой исследования было установление зависимости периодов шага от скорости движения индивида. Оценка проводилась с помощью непараметрического критерия корреляции Спирмена.

Результаты. При сравнительном анализе полученных данных выявлена закономерность уменьшения всех периодов шага по отдельности (период первой и второй двойной опоры, период первого и второго переноса) при увеличении скорости движения индивида.

Заключение. Полученные данные позволяют использовать характеристики цикла шага для идентификации индивида по походке при ходьбе с различной скоростью. Этот этап может послужить дальнейшей разработке алгоритма идентификации личности по походке как одного из параметров идентификации личности.

Ключевые слова: идентификация личности; судебная медицина; цикл шага; походка; камеры видеонаблюдения.

Как цитировать:

Косухина О.И., Фомина Е.Е., Леонов С.В. Определение зависимости периодов шага от скорости у индивида старше пятнадцати лет // Судебная медицина. 2023. Т. 9, № 3. С. 00–00. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm12646>

Рукопись получена: 29.06.2023 Рукопись одобрена: 01.09.2023 Опубликовано:

28.09.2023

Determining the dependence of step periods on the speed of an individual over fifteen years old

Oksana I. Kosukhina¹, Elena E. Fomina², Sergey V. Leonov^{1, 3}

¹ Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russian Federation;

² Tver State Technical University, Tver, Russian Federation;

³ Chief State Center for Forensic Medicine and Forensic Expertise 111, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Issues of identity identification are relevant among the tasks solved when using these video surveillance and recording cameras. If it is impossible to carry out identification by face, the identification by gait becomes relevant.

AIM: Defining the step cycle as one of the gait personality identification parameters.

MATERIALS AND METHODS: Study design: a single-center observational study, single-point (per population), the result was the registered Database of Step Cycle Characteristics (Certificate of State Registration No. 2022623085). The primary endpoint of the study was the determination of the dependence of step periods on the speed of movement of the individual, the assessment was carried out by a non-parametric criterion for Spearman correlation.

RESULTS: The comparative analysis of the obtained data revealed a pattern of decrease in all step periods separately (period of the first and second double support, period of the first and second transfer) with an increase in the speed of movement of the individual.

CONCLUSION: The obtained data make it possible to identify the possibility of using the characteristics of the step cycle to identify the individual by gait when walking at different speeds. This stage can serve to further develop an algorithm for identifying a person by gait, as one of the parameters.

Keywords: identification of identity; forensic medicine; step cycle; gait; CCTV cameras.

To cite this article:

Kosukhina OI, Fomina EE, Leonov SV. Determining the dependence of step periods on the speed of an individual over fifteen years old. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2023;9(3):00–00. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm12646>

Received: 29.06.2023

Accepted: 01.09.2023

Published: 28.09.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Значительная удалённость объекта съёмки или низкое (недостаточное) разрешение камеры приводит к тому, что классическая идентификация человека

методом портретной экспертизы или краниофациальной диагностики не представляется невозможной [1, 2]. В этих случаях становятся востребованными исследования по установлению личности индивида с помощью общих признаков внешности и походки.

Идентификации личности по походке посвящено большое количество публикаций [3–11], тем не менее данный способ на сегодняшний день остаётся фактически нерешённой задачей. В доступных нам материалах мы не встретили указаний на влияние скорости движения индивида на периоды шага, вместе с тем известно, что средняя скорость движения человека (шагом) составляет 3–7 км/ч [12]. Другими словами, один человек в норме может изменять свою скорость более чем вдвое.

Цель исследования — определение цикла шага как одного из параметров идентификации личности по походке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Одноцентровое наблюдательное выборочное неконтролируемое исследование с участием 92 испытуемых. Выборка участников исследования проведена сплошным методом на одной популяции (однорыборочное), в стандартных условиях с формированием единой базы наблюдений (одноцентровое).

Критерии соответствия

Критерии включения. Для определения характеристик шага привлекались добровольцы в возрасте от 16 лет до 61 года, не имеющие костно-мышечной патологии.

Критерии невключения: лица моложе 16 лет и старше 61 года.

Критерии исключения: лица с патологией костно-мышечной системы.

Условия проведения

Для изучения периодов шага проведены видеозаписи тренировок добровольцев на базе частных фитнес-клубов и государственных физкультурно-оздоровительных комплексов в запланированные сроки (с мая 2022 по февраль 2023 года).

Все наблюдения проводились на здоровых людях вне медицинских центров без медицинских манипуляций.

Описание медицинского вмешательства

Объектами исследования стали живые лица. Возраст испытуемых имел широкий диапазон — от 16 лет до 61 года. Нами учитывались рост и масса тела индивидуумов. Выборка являлась случайной, основанной на добровольном отборе участников. Всего в исследование вошли 92 человека обоего пола, примерно в одинаковом соотношении. Личные данные являлись анонимными: каждому

испытуемому присваивался шифр, состоящий из одной буквы латинского алфавита и цифры.

В работе использованы электрические беговые дорожки с автоматической регулировкой скорости; смартфоны на базе операционной системы iOS и Android; компьютерные программы Light Alloy, MS Excel и программный комплекс для расчёта характеристик цикла шага (Свидетельство о государственной регистрации № 2022682014¹).

Исследование проводилось при искусственном и смешанном освещении; заданная скорость движения испытуемых варьировала от 3 до 7 км/ч. Время съёмки на один скоростной интервал составляло от 20 до 30 сек, что обеспечивало стабилизацию движения добровольца и его переход на привычный ритм движения в заданной скорости.

Испытуемый находился на горизонтальной прорезиненной платформе беговой дорожки без поддержки и наклона. Изменение скоростного режима проводилось голосовым оповещением добровольца. Оператор находился с правого или левого бока от испытуемого, располагая камеру на уровне таза испытуемого. Обязательным условием соблюдения протокола исследования являлось полное попадание в кадр подвижной платформы беговой дорожки, ног испытуемого, а также отчётливая визуализация соприкосновения стопы с поверхностью. Полученная видеозапись анализировалась по каждому скоростному интервалу (3–4–5–6–7 км/ч) при помощи программы Light Alloy, данные вносили в программный комплекс для расчёта характеристик цикла шага с построением зависимости периода шага и скорости и сохранением характеристик цикла шага в базе данных. Итогом стала зарегистрированная База данных характеристик цикла шага (Свидетельство о государственной регистрации № 2022623085 [13]).

При расчёте в каждом интервале скорости учитывались 4 шага, фиксация параметра производилась с начала момента двойной опоры или переноса. Нами оценивались следующие периоды шага: периоды первой и второй двойной опоры, периоды первого и второго переноса [11]. Учитывая факт того, что у праворуких людей длина шага правой ноги больше (обычно она опорная у правшей), в протоколе отмечался, с какой (левой или правой) ноги начинается первый период двойной опоры или переноса. Для визуализации полученных данных создавались линейные диаграммы. На графике по оси абсцисс отображались значения скорости (в км/ч), по оси ординат размечалась длительность (временные интервалы) каждого из периодов шага, выраженная в секундах (рис. 1).

Исследование проводилось при искусственном и смешанном освещении; заданная скорость движения испытуемых варьировала от 3 до 7 км/ч. Время съёмки на один скоростной интервал составляло 20–30 сек, что обеспечивало стабилизацию движения добровольца и его переход на привычный ритм движения в заданной скорости.

Анализ в подгруппах

В рамках проведённого исследования проводилась оценка параметров шага с учётом возрастных критериев, для чего были выделены группы 16–25 лет, 26–35 лет, 36–45 лет, 46–55 лет, 55–61 года. Кроме этого, были выделены подгруппы,

¹ Фомина Е.Е., Леонов С.В., Косухина О.И. Программа для ЭВМ № 2022682014 «Программный комплекс для расчета характеристик цикла шага» [Онлайн патент]. Режим доступа: <https://onlinepatent.ru/software/2022682014/>.

учитывающие пол, телосложение (гипостеническое, нормостеническое, гиперстеническое).

Статистический анализ

Установление зависимости периодов шага от скорости движения индивида проводилось путём оценки непараметрического критерия корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

Размер выборки составил 92 добровольца, из них один был моложе 16 лет, двое — старше 61 года.

Основные результаты исследования

При сравнительном анализе полученных данных выявлена закономерность уменьшения всех периодов шага по отдельности (периода первой и второй двойной опоры, периода первого и второго переноса) при увеличении скорости движения индивида. С увеличением скорости шага происходит перераспределение длительности периодов внутри полного цикла шага (рис. 2): наблюдается тенденция уменьшения периодов двойной опоры и увеличения периодов переноса. Как видно из графика (см. рис. 2), происходит уменьшение циклов двойной опоры с ростом скорости в пределах от 4 до 7% и, соответственно, увеличение в этих же пределах циклов переноса.

При оценке периодов шага в пределах сравнения скоростей 3 и 4 км/ч видно, что первый период двойной опоры при скорости 3 км/ч составляет 17% от полного цикла шага и не изменяется при скорости 4 км/ч. Второй же период двойной опоры сокращается на 2% и составляет 15% при скорости 4 км/ч. Первый период переноса, напротив, увеличивается на 2%, составляя 34%, второй период переноса увеличивается на 1% и с 34% при скорости 3 км/ч до 35% при скорости 4 км/ч от полного цикла шага.

При сравнении этапов шага при 4 и 5 км/ч можно отметить сокращения на 1% при первом этапе двойной опоры (с 17 до 16%) и на 2% при втором этапе двойной опоры (с 15 до 13%) соответственно. Увеличения первого периода переноса не происходит — 34% как при скорости 4 км/ч, так и 5 км/ч, а второй период переноса увеличивается на 2% (с 35 до 37%). До скорости 5 км/ч происходит плавная смена распределения процента между периодами шага, оставаясь неизменной, увеличиваясь или уменьшаясь на 1–2%.

При сравнении этапов шага на скорости 5 и 6 км/ч отмечается сокращение первого периода двойной опоры на 3%, составляя 13% при скорости 6 км/ч, второй период же увеличивается на 1%, составляя 14% при скорости 6 км/ч. Первый период переноса, соответственно, увеличивается на 3%, а второй уменьшается на 1% и занимает 36% от общего цикла шага.

Сравнивая изменение периодов шага на скорости 6 и 7 км/ч удалось установить, что первый период двойной опоры не изменяется при скорости 7 км/ч, составляя 13%, значительно уменьшается уже на скорости 6 км/ч; а второй период двойной опоры уменьшается сразу на 4% и составляет 10%. Первый период переноса

увеличивается с 37 до 39%, а второй — с 36 до 38% при увеличении скорости с 6 до 7 км/ч.

На скорости 5 км/ч видна остановка тенденции плавной смены периодов шага в пределах одной скорости, которые составили от 0 до 2%. На данной скорости наблюдается некое плато, после чего с увеличением скорости до 6 и 7 км/ч видна более высокая амплитуда колебаний процентного соотношения (от 1 до 4%) периодов полного цикла шага.

При анализе показателей подгрупп, учитывающих возраст (16–25 лет, 26–35 лет, 36–45 лет, 46–55 лет, 55–61 года), пол, телосложение (типостеническое, нормостеническое, гиперстеническое), отмечено, что тип телосложения, рост и возраст не оказывают влияния на изменение этапов цикла шага при выбранных скоростях (3–7 км/ч). Нами отмечено, что мужчинам свойственны более длительные периоды двойной опоры и более короткие периоды переноса, а также большая продолжительность цикла шага, для женщин — наоборот. У мужчин средняя продолжительность периода двойной опоры составляет $15,4 \pm 1,03\%$ от цикла шага или $0,17 \pm 0,023$ сек, у женщин — $14,2 \pm 1,4\%$ или $0,16 \pm 0,027$ сек соответственно. Средняя продолжительность периода переноса у мужчин составляет $34,6 \pm 1,1\%$ или $0,38 \pm 0,01$ сек, у женщин — $35,8 \pm 1,5\%$ или $0,41 \pm 0,01$ сек соответственно. Средняя продолжительность цикла шага составляет $1,12 \pm 0,07$ и $1,07 \pm 0,07$ сек у мужчин и женщин соответственно.

Коэффициент корреляции Спирмена (ρ) равен $-0,845$. Связь между исследуемыми признаками — обратная, теснота (сила) связи по шкале Чеддока — высокая.

ОБСУЖДЕНИЕ

Выбор условий проведения исследования (на беговой дорожке) определён по причине возможного наблюдения за испытуемым при отсутствии перемещения с увеличением скорости. Так как целью исследования было установление зависимости периодов шага от скорости движения индивида, то данный параметр не отличался бы и в иных условиях, за исключением наличия препятствий, которые нами не рассматривались.

Планируется увеличение количества участников исследования для получения более достоверных результатов.

Данное исследование является одним из направлений в составе комплексного изучения различных характеристик походки, что имеет большое значение для идентификации личности при покадровом анализе видеозаписи.

Проведя количественную оценку длительности периодов шага, мы установили, что на скорости 4 км/ч человек делает более широкие и длительные по времени шаги (в большей степени — правой ногой), сокращая при этом время опоры на левую ногу перед шагом ведущей правой ногой.

Фактически на скорости 3, 4 и 5 км/ч в сравнении с 6 и 7 км/ч происходит плавная смена периодов шага. При скорости 5 км/ч наблюдается плато между сменой периодов шага, а уже на 6 и 7 км/ч мы наблюдаем резкое увеличение изменений по каждому циклу шага.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом данного исследования является обратная зависимость между увеличением скорости пешехода и уменьшением длительности всех периодов шага. Вторая установленная зависимость представляет собой пропорциональный рост периодов переноса и пропорциональное уменьшение периодов двойной опоры. Фактически с увеличением скорости человек осуществляет более длинный по времени шаг, при этом уменьшается время, когда обе конечности контактируют с дорожным покрытием.

Полученные данные позволяют использовать характеристики цикла шага для идентификации индивида по походке при ходьбе с различной скоростью.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источники финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: О.И. Косухина, Е.Е. Фомина — концепция или дизайн исследования, получение, анализ данных или интерпретация результатов, написание статьи или внесение в рукопись существенной (важной) правки с целью повышения её научной ценности; С.В. Леонов — концепция или дизайн исследования, написание статьи или внесение в рукопись существенной (важной) правки с целью повышения её научной ценности.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. O.I. Kosukhina, E.E. Fomina — the concept or design of the study, obtaining, analyzing data or interpreting results, writing an article or making a significant (important) amendment to the manuscript in order to increase the scientific value of the article; S.V. Leonov — the concept or design of the study, writing an article or making a significant (important) amendment to the manuscript in order to increase the scientific value of the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зинин А.М. Актуальные проблемы судебной портретной экспертизы // Вестник экономической безопасности. 2018. № 1. С. 64–66.

2. Михайлова М.С. Отдельные вопросы проведения портретной экспертизы в рамках криминалистического исследования // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 11-3. С. 74–76. doi: 10.24411/2500-1000-2019-11818
3. Шакирьянова Ю.П. Значение общих анатомических элементов внешности при идентификации личности человека по цифровой видеозаписи // Вестник медицинского института "РЕАВИЗ": реабилитация, врач и здоровье. 2018. № 1. С. 89–93.
4. Урусова Т.Е. Исследование возможности применения методов идентификации личности по особенностям походки на основе анализа видеопотока в учреждениях УИС // Актуальные вопросы информатизации Федеральной службы исполнения наказаний на современном этапе развития уголовно-исполнительной системы: сборник материалов круглого стола; 19 октября 2018 года. Тверь, 2018. С. 86–91.
5. Булгаков В.Г., Булгакова Е.В. Особенности методики судебно-экспертного исследования динамических признаков походки человека // Судебная экспертиза. 2013. № 4. С. 23–31.
6. Bashir Kh., Xiang T., Gong G. Gait recognition using gait entropy image // School of Electronic Engineering and Computer Science. Queen Mary University of London United Kingdom. 2010. Vol. 76, N 2. P. 21–23. doi: 10.1049/IC.2009.0230
7. Marsico M.M., Proença N.H. Human recognition in unconstrained environments. Using Computer Vision, Pattern Recognition and Machine Learning Methods for Biometrics, 2017.
8. Wan Ch., Wang L., Phoha V. A Survey on gait recognition // Southeast University China. 2018. Vol. 70, N 3. P. 34–35. doi: 10.1145/3230633
9. Сайдамарова В.В. Теоретическое исследование зарубежного опыта идентификации личности по видеоизображению // Проблемы и перспективы совершенствования законодательства и правоприменительной практики органов внутренних дел: материалы международной дистанционной научно-практической конференции; 30 октября 2020 года. Караганда, 2020. С. 163–167.
10. Шендеров В.А. Биомеханическая экспертиза: выявление индивидуальных особенностей походки и осанки при идентификации личности // Российский журнал биомеханики. 2007. Т. 11. № 2. С. 75–78.
11. Скворцов Д.В. Клинико-биомеханический анализ патологической походки посредством аппаратно-программного комплекса: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Москва, 1997. 23 с.
12. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений. Анализ походки. Иваново: Стимул, 1996. 344 с.
13. Патент РФ на изобретение № RU 2022623085. Косухина О.И., Фомина Е.Е., Леонов С.В. База данных характеристик цикла шага. Режим доступа: <https://elibrary.ru/bilebd>. Дата обращения: 15.08.2023.

REFERENCES

1. Zinin AM. Actual problems of forensic portrait examination. *Bulletin Economic Security*. 2018;(1):64–66. (In Russ).
2. Mikhailova MS. Individual issues of portrait examination within the framework of forensic research. *Int J Humanities Natural Sci*. 2019;(11-3):74–76. (In Russ). doi: 10.24411/2500-1000-2019-11818

3. Shakiryanova YP. The value of general anatomical elements of appearance when identifying a person by digital video recording. *Bulletin Med Institute "REAVIZ": rehabilitation doctor health*. 2018;(1):89–93. (In Russ).
4. Urusova IE. Study of the possibility of using methods of personal identification by gait characteristics based on the analysis of video flow in UIS institutions. In: *Actual issues of informatization of the Federal Penitentiary Service at the current stage of the development of the penal system: A collection of round table materials*; 2018 Oct 19. Tver, 2018. (In Russ).
5. Bulgakov VG, Bulgakova EV. Features of the method of forensic examination of dynamic signs of human gait. *Forensic Examination*. 2013;(4):23–31. (In Russ).
6. Bashir Kh, Xiang T, Gong G. Gait Recognition using Gait Entropy Image. *School Electronic Engineering Computer Science. Queen Mary University London United Kingdom*. 2010;76(2):21–23. doi: 10.1049/IC.2009.0230
7. Marsico MM, Proença NH. Human recognition in unconstrained environments. *Using Computer Vision, Pattern Recognition and Machine Learning Methods for Biometrics*; 2017.
8. Wan Ch, Wang L, Phoha V. A survey on gait recognition. *Southeast University Chine*. 2018;70(3):34–35. doi: 10.1145/3230633
9. Saydamarova VV. Theoretical study of foreign experience in personal identification by video. In: *Problems and prospects for improving legislation and law enforcement practice of internal affairs bodies: Materials of an international remote scientific and practical conference*; 2020 Oct 30. Karaganda; 2020. P. 163–167. (In Russ).
10. Shenderov VA. Biomechanical examination: identification of individual features of gait and posture during personality identification. *Russ J Biomechan*. 2007;11(2):75–78. (In Russ).
11. Skvortsov DV. Clinical and biomechanical analysis of the pathological gait through the hardware and software complex [dissertation abstract]. Moscow; 1997. 23 p. (In Russ).
12. Skvortsov DV. Clinical analysis of movements. *Gait analysis*. Ivanovo: Stimul; 1996. 344 p. (In Russ).
13. Patent RUS No. RU 2022623085. Kosukhina OI, Fomina EE, Leonov SV. Database of characteristics of the step cycle. (In Russ). Available from: <https://elibrary.ru/bilebd>. Accessed: 15.08.2023.

ОБ АВТОРАХ	AUTHORS' INFO
<p>* Леонов Сергей Валерьевич, д-р мед. наук, профессор; адрес: Россия, 105094, Москва, пл. Госпитальная, д. 3; ORCID: 0000-0003-4228-8973; eLibrary SPIN: 2326-2920; e-mail: sleonoff@inbox.ru</p>	<p>* Sergey V. Leonov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor; address: 3 Hospital square, 105094 Moscow, Russia; ORCID: 0000-0003-4228-8973; eLibrary SPIN: 2326-2920; e-mail: sleonoff@inbox.ru</p>
<p>Косухина Оксана Игоревна, канд. мед. наук; ORCID: 0000-0003-1665-3666; eLibrary SPIN: 7794-6782; e-mail: u967nk@yandex.ru</p>	<p>Oksana I. Kosukhina, MD, Cand. Sci. (Med.); ORCID: 0000-0003-1665-3666; eLibrary SPIN: 7794-6782; e-mail: u967nk@yandex.ru</p>
<p>Фомина Елена Евгеньевна, канд. тех. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-1028-0750; eLibrary SPIN: 6602-8570;</p>	<p>Elena E. Fomina, Cand. Sci. (Engin.), Assistant Professor; ORCID: 0000-0002-1028-0750; eLibrary SPIN: 6602-8570;</p>

e-mail: f-elena2008@yandex.ru	e-mail: f-elena2008@yandex.ru
* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author	

ARTICLE IN PRESS

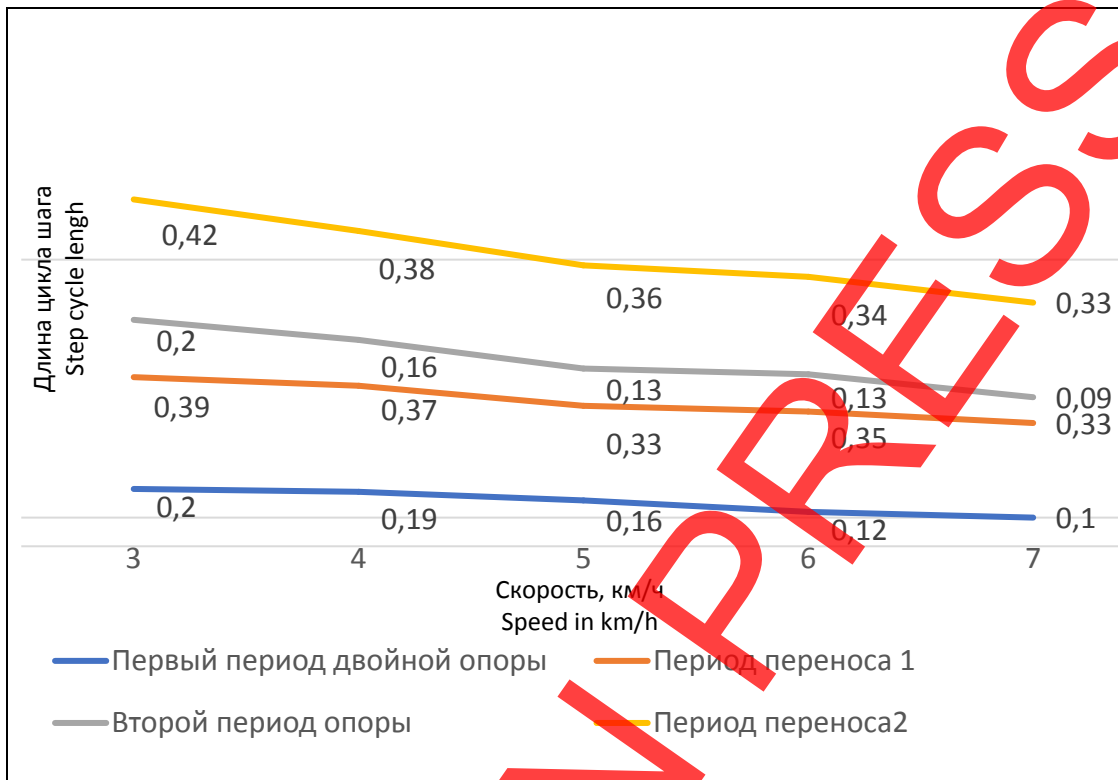


Рис. 1. Изменение интервалов этапов шага в зависимости от скорости, где длина цикла шага выражена в долях от единицы.

Fig. 1. Change of step step intervals depending on speed, where step cycle length is expressed in fractions of one.



Рис. 2. Изменение интервалов этапов шага в зависимости от скорости, где длина цикла шага выражена в процентах.

Fig. 2. Change of step step intervals depending on speed, where step cycle length is expressed in percent.

ARTICLE IN PRESS