

ПРОТОТИП СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕГОВЫХ ТРЕНИРОВОК

И.С. Цыганкова

tsyygankovais@student.bmstu.ru

SPIN-код: 1185-8700

А.Л. Масленников

amas@bmstu.ru

SPIN-код: 7087-6303

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Беговые упражнения весьма популярны как у спортсменов-профессионалов, так и у спортсменов-любителей. Для оценки эффективности тренировок применяют различные технические средства, с помощью которых определяют частоту сердечных сокращений, траекторию движения, скорость и другие параметры, а затем рассчитывают динамические характеристики бега. Существующие на рынке технические средства в сегменте недорогих устройств не обладают достаточной точностью или не всегда включают весь требуемый набор датчиков. В работе дано описание прототипа системы для получения динамических характеристик бега, обладающего большей точностью и меньшей стоимостью по сравнению с аналогами. Повышение точности определения траектории спортсмена как основной исходной информации (а как следствие, и точности определения динамических характеристик бега) предлагается обеспечить путем комплексирования навигационной информации, получаемой от спутниковой навигационной системы с показаниями блока инерциальных измерений.

Ключевые слова

Спортивный трекер, траектория движения, динамические характеристики бега, приемник ГСНС, блок инерциальных измерений, контроллер Arduino, контроллер STM32, ЭКГ-датчик

Поступила в редакцию 19.06.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Введение. Беговые упражнения набирают все большую популярность. Наблюдение за частотой сердечных сокращений (ЧСС) в процессе тренировки позволяет оценивать работу организма, а как следствие, не допускать перегрузок и поддерживать наиболее эффективный для тренировки пульс [1–3]. Измерение ЧСС можно осуществлять разными способами, зависящими от места крепления датчика, например, пульсометром на пальце, пульсометром, закрепляемым на запястье (в обоих подходах, как правило, используется оптическая плетизмография), пульсометром, размещаемым на груди (используется измерение электрических потенциалов как в электрокардиограмме) [4–7]. Ранние модели пульсометров имели вид небольшой коробочки, в которой

находились электроды, крепящиеся к груди. Первый беспроводной ЭКГ-датчик был изобретен в 1977 г. и был применен в тренировочном процессе сборной Финляндии по лыжным гонкам [1, 8].

Для повышения эффективности тренировок нужно следить не только за ЧСС, но и за динамическими характеристиками бега (скорость движения спортсмена, время контакта с землей, угол подъема беговой поверхности, частота шагов), что особенно актуально в профессиональном спорте, где оценивать эффективность тренировки необходимо в режиме реального времени [9–11]. Для оценки динамических характеристик бега требуется определять траекторию, скорость движения спортсмена и наклон беговой поверхности, которые могут быть получены с использованием глобальных спутниковых навигационных систем (ГСНС), например, ГЛОНАСС (Россия) или GPS (США) [12–14]. Отметим, что точность определения навигационной информации по ГСНС сильно зависит от различных факторов, что особенно явно проявляется в условиях городской застройки [15, 16].

Для более точного по сравнению с аналогами определения траектории движения спортсмена по ГСНС предлагается решение, которое позволит алгоритмически скомпенсировать возможные отклонения результирующей траектории движения спортсмена от истинной путем комплексирования ГСНС с показаниями блока инерциальных измерений (БИИ). Комплексирование также можно осуществлять и с навигационной информацией, получаемой с бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС), однако это требует дополнительных исследований, обусловленных сложностью реализации точного навигационного алгоритма на микромеханических датчиках с большим уровнем измерительного шума.

Существующие средства. На рынке портативной техники широко представлены технические средства — спортивные трекеры, которые могут определять ЧСС, траекторию движения и оценивать динамические характеристики бега (табл. 1). Однако в сегменте широкого потребления отсутствуют относительно недорогие устройства, реализующие весь требуемый функционал с достаточной точностью. Помимо этого на текущий момент БИИ не используется для решения подобных задач ни в одном доступном для потребителя устройстве, кроме случаев применения акселерометров для определения числа шагов [17, 18]. Комплексирование БИНС и ГСНС в навигационных системах осуществляется по методу коррекции БИНС по ГСНС, а не ГСНС по БИНС (БИИ), как предлагается реализовать в разрабатываемом прототипе.

Предлагаемое решение. Предлагается использовать сразу три датчика первичной информации: пульсометр, БИИ (состоит из трехосных акселерометра, гироскопа, магнитометра и барометрического датчика высоты) и приемник ГСНС (разработка прототипа осуществляется при использовании GPS). Траектория движения определяется по ГСНС [19–23]. Получение траектории как гладкой функции, а также определение и коррекция ошибок ГСНС осуществляется путем комплексирования навигационной информации от ГСНС с показа-

ниями БИИ. Этот подход комплексирования основан на том, что получаемая от ГСНС навигационная информация и показания БИИ (как и навигационная информация с БИНС) сильно коррелируют на небольшом временном интервале. В случае резкого отклонения траектории, получаемой от ГСНС, корреляция с показаниями БИИ существенно уменьшается, что может служить индикатором необходимости коррекции. Функциональная схема предлагаемого решения с учетом необходимости передачи данных на планшет тренера в режиме реального времени по беспроводному каналу связи представлена на рис. 1.

Таблица 1

Сравнительные характеристики спортивных трекеров различных видов

Место крепления	Используемые датчики	Особенности
На груди	Пульсометр	Плотная фиксация Высокая точность
На пальце	Пульсометр	Низкая точность
На запястье	Приемник ГСНС Пульсометр БИИ	Не все модели имеют приемник ГСНС Неплотная фиксация
В телефоне (на плече)	Приемник ГСНС БИИ	Нет пульсометра
В ухе	Пульсометр	Низкая точность Нет приемника ГСНС

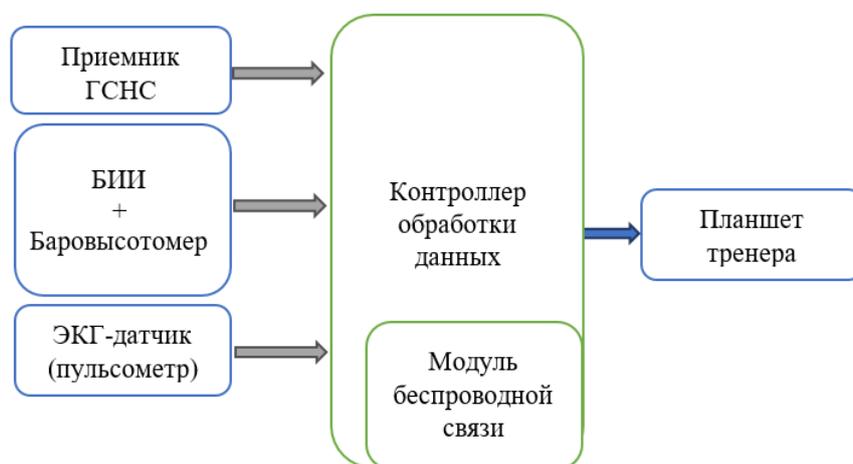


Рис. 1 Функциональная схема разрабатываемого прототипа

Для решения сложных вычислительных задач, таких как обработка данных с пульсометра, решение задачи навигации по БИНС и по ГСНС, комплексирование показаний двух навигационных систем, формирование и отправка данных на планшет тренера, вычислитель должен обладать повышенным быстро-

действием. Очевидно, что со всем спектром указанных задач один контроллер (например, семейства Arduino) не справится, а увеличение числа контроллеров может снизить эргономичность прототипа при его закреплении на спортсмене [24]. Можно использовать более мощные контроллеры (например, семейства STM32), вычислительной мощности которых достаточно для решения поставленных задач [25]. Однако для отладки аппаратного и программного взаимодействия контроллера с датчиками можно применять несколько контроллеров семейства Arduino. Простота программирования контроллеров Arduino в данном случае делает процесс отладки взаимодействия с каждым датчиком более простым по сравнению с, например, контроллерами семейства STM32. В этом случае функциональная схема прототипа в процессе отладки будет иметь вид, представленный на рис. 2.



Рис. 2 Функциональная схема разрабатываемого прототипа (при отладке)

Рассмотрим более подробно состав аппаратной части, которая включает в себя следующие датчики и контроллеры:

- БИИ с барометрическим датчиком высоты;
- приемник ГСНС;
- ЭКГ-датчик (пульсометр);
- контроллер сбора данных и передачи по беспроводной связи.

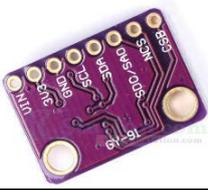
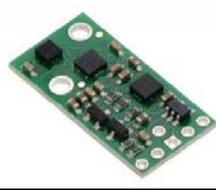
Приемник ГСНС. На рынке представлен широкий спектр приемников ГСНС и готовых плат с приемником ГСНС, совместимых с Arduino (как с внешней, так и с внутренней антенной), которые имеют схожие характеристики и стоимость. Большая часть приемников может выдавать только конечную навигационную информацию, т. е. уже непосредственно рассчитанные широту, долготу, высоту над уровнем моря, скорость движения и другие параметры. Однако этого недостаточно для реализации предлагаемого метода комплексирования показаний ГСНС и БИИ (БИНС). Для предлагаемого нами решения необходимы «сырые» данные показаний ГСНС, а именно: данные альманаха и эфемерид, координаты спутников, измеренные псевдо-

дальности и различные поправки. Эту информацию могут выдать приемники ГСНС, работающие на базе чипа семейства STA8088 производства компании STMicroelectronics [26]. На рынке представлено несколько подобных приемников, в том числе отечественные GL8088s и ML8088s производства компании НАВИА [27].

Блок инерциальных измерений (БИИ). Как было отмечено, показания БИИ предполагается использовать для обнаружения и коррекции резких уходов определяемой по ГСНС траектории движения спортсмена. Для этого необходимо иметь БИИ с десятью степенями свободы, который включает в себя трехосные акселерометр, гироскоп (датчик угловой скорости), магнитометр и барометрический датчик для определения высоты. Основные параметры ряда имеющихся на рынке БИИ приведены в табл. 2. Для создания прототипа выбрана плата GY-91, состоящая из датчиков MPU-9250 и BMP280, так как разрядность АЦП для всех его компонентов одинакова и равна 16, что обеспечивает требуемую точность оцифровки, а дополнительным преимуществом можно считать наличие SPI-интерфейса, что позволит получать передаваемый датчиков объем информации с достаточной частотой дискретизации [28].

Таблица 2

Основные параметры различных датчиков БИИ

Параметры	10DOF	AltIMU-10	10 DOF Mems IMU Sensor
Внешний вид			
Плата	GY-91	IMU02C 0J8256	10 DOF V.1
Диапазон измерений акселерометр, м/с ²	±16	±16	±16
гироскоп, град/с	±2000	±2000	±2000
магнитометр, мкТ	±4800	±810	±800
барометр, ГПа	300-1100	260-1260	300-1100
Разрядность АЦП акселерометр	16	12	13
гироскоп	16	16	16
магнитометр	16	12	12
барометр	16	24	16
Интерфейс взаимодействия	I ² C/SPI	I ² C	I ² C

Датчик ЭКГ (пульсометр). Наибольшей точностью обладают датчики пульса, которые крепятся к груди, однако использовать готовые решения (например, датчики Polar) не представляется возможным, поскольку они не

позволяют получить измерения в обход программного обеспечения компании-производителя. В качестве альтернативы можно выбрать плату AD8232 и электроды, соединяющиеся с ней через разъем RTS [29]. Внешний вид платы AD8232 с электродами показан на рис. 4, а схема подключения к контроллеру Arduino Uno приведена на рис. 5.



Рис. 3. ЭКГ-датчик AD8232

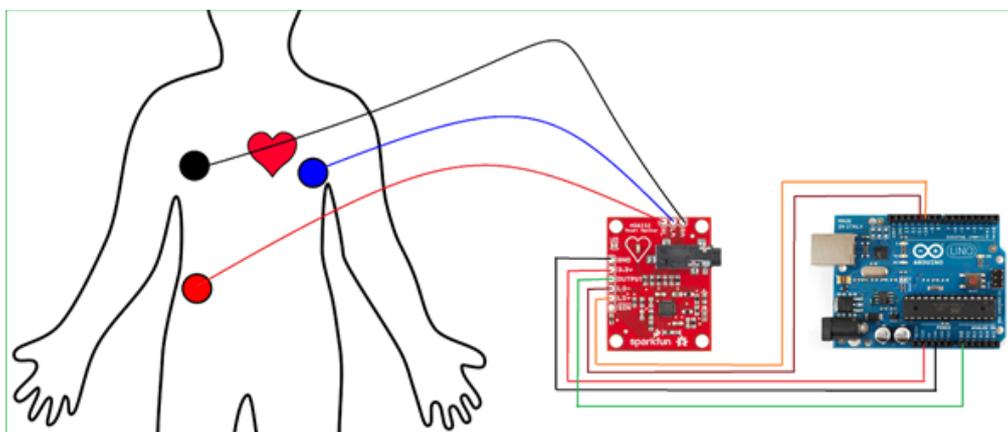


Рис. 4 Соединение ЭКГ-датчика AD8232 с контроллером Arduino

Контроллер сбора данных и передачи по беспроводной связи. Беспроводной канал связи между контроллером, закрепляемым на спортсмене, и планшетом тренера может быть реализован посредством технологии Wi-Fi, по радиоканалу либо через сотовую сеть (4G). Выбор вида беспроводной связи определяется тем, как прототип будет использоваться. Если удаленность спортсмена от план-

шета тренера не превышает 100...150 м (что соответствует занятиям на стадионе), то можно использовать Wi-Fi или радиоканал. Если расстояние не превышает 1...2 км, то использовать Wi-Fi не представляется возможным, а заменой может служить как радиоканал, так и сеть 4G. Если спортсмен в процессе тренировки может удаляться от тренера на расстояние, превышающее 1...2 км, использование радиоканала становится невозможным. При этом для отладки прототипа целесообразно выбирать Wi-Fi, что позволит легко настроить интерфейс взаимодействия контроллера и планшета тренера, объединив их в одну локальную сеть лаборатории.

Программная часть. Программная часть включает две составляющие, одна из которых реализуется на уровне контроллеров, а вторая — программного обеспечения в ПЭВМ. На уровне контроллеров решаются следующие задачи:

- сбор данных;
- предварительная обработка данных;
- накопление данных;
- формирование пакета с данными для передачи на планшет тренера;
- передача данных на планшет тренера.

Программное обеспечение на планшете тренера, которое будет реализовано с использованием National Instruments LabView, позволяет решать следующие задачи:

- конечная обработка данных, включающая в себя различные виды фильтрации;
- выделение информативных составляющих в сигналах;
- построение траектории движения по БИИ и по ГСНС;
- комплексирование ГСНС по БИИ;
- визуализация полученной траектории движения;
- визуализация полученных показаний ЧСС;
- расчет динамических характеристик бега.

Результаты. В работе представлен прототип системы для оценки эффективности беговых тренировок, который включает в себя систему сбора данных с датчиков, закрепляемых на спортсмене, и планшет тренера, на который информация передается в режиме реального времени. Отличительной особенностью предлагаемой системы является наличие сразу трех датчиков первичной информации: пульсометр, БИИ с барометрическим датчиком давления и приемник спутниковой навигационной системы. Включение БИИ в состав аппаратной части необходимо для реализации нового метода комплексирования ГСНС по БИНС, цель которого — коррекция получаемой от ГСНС траектории движения.

Работа выполнена при поддержке гранта «УМНИК» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (договор №13183ГУ/2018 от 31.05.2018).

Литература

- [1] Achten J., Jeukendrup A.E. Heart rate monitoring. *Sports Medicine*, 2003, vol. 33, no. 7, pp. 517–538.
- [2] Lambert M.I., Mbambo Z.H., Gibson A. St C. Heart rate during training and competition for longdistance running. *Journal of Sports Sciences*, 1998, vol. 16, no. 1, pp. 85–90.
- [3] Karvonen J., Vuorimaa T. Heart rate and exercise intensity during sports activities. *Sports Medicine*, 1988, vol. 5, no. 5, pp. 303–311.
- [4] Fukushima H., Kawanaka H., Bhuiyan Md. S., Oguri K. Estimating heart rate using wrist-type photoplethysmography and acceleration sensor while running. *Conf. Proc. IEEE. Eng. Med. Biol. Soc.*, 2012, pp. 2901–2904.
- [5] Leger L., Thivierge M. Heart rate monitors: validity, stability, and functionality. *The Physician and Sportsmedicine*, 1988, vol. 16, no. 5, pp. 143–151.
- [6] Laukkanen R.M., Virtanen P.K. Heart rate monitors: state of the art. *Journal of Sports Sciences*, 1998, vol. 16, no. 1, pp. 3–7.
- [7] Ibrahim D., Buruncuk K. Heart rate measurement from the finger using a low- cost microcontroller. Near East University, Faculty of Engineering, TRN, 2005.
- [8] Czinkota M.R., Ronkainen I.A. International marketing. Cengage Learning, 2012, 720 p.
- [9] Zulkifli N.S.A., Che Harun F.K., Azahar N.S. XBee wireless sensor networks for Heart Rate Monitoring in sport training. *Int. Conf. on Biomedical Engineering (ICoBE)*, 2012, pp. 441–444.
- [10] Марченко И.О., Зуева А.Е., Кухто А.В., Педонова З.Н. Система мониторинга и диагностики состояния спортсмена. *Инженерный вестник Дона*, 2015, № 2-2. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3001>.
- [11] Jeukendrup A., Diemen A.V. Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 1998, vol. 16, no. 1, pp. 91–99.
- [12] Cummins C., Orr R., O'Connor H., West C. Global positioning systems (GPS) and micro-technology sensors in team sports: a systematic review. *Sports Medicine*, 2013, vol. 43, no. 10, pp. 1025–1042.
- [13] Waegli A., Skaloud J., Tomé P., Bonnaz J. Assessment of the integration strategy between GPS and body-worn MEMS sensors with application to sports. *Proc. ION GNSS*, 2007, pp. 1–10.
- [14] Wägli A., Skaloud J. Trajectory determination and analysis in sports by satellite and inertial navigation. *EPFL*, 2009, 202 p.
- [15] Bajaj R., Ranaweera S.L., Agrawal D.P. GPS: location-tracking technology. *Computer*, 2002, vol. 35, no. 4 pp. 92–94.
- [16] Modsching M., Kramer R. Field trial on GPS Accuracy in a medium size city: the influence of built-up. *3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication*, 2006, pp. 209–218.
- [17] Freedson P.S., Miller K. Objective monitoring of physical activity using motion sensors and heart rate. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 2000, vol. 71, no. 2, pp. 21–29.
- [18] Brage S., Brage N., Franks P.W., Ekelund U., Wareham N.J. Reliability and validity of the combined heart rate and movement sensor Actiheart. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2005, vol. 59, no. 4, pp. 561–570.
- [19] Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. *Global positioning system: theory and practice*. Springer, 2001, 382 p.

- [20] Биард Р.У., МакЛэйн Т.У. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Москва, Техносфера, 2015, 312 с.
- [21] Одуан К., Гино Б. Измерение времени. Основы GPS. Техносфера, 2002, 383 с.
- [22] Aughey R.J. Applications of GPS technologies to field sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2011, vol. 6, no. 3, pp. 295–310.
- [23] Микрин Е.А., Михайлов М.В. *Навигация космических аппаратов по измерениям от глобальных спутниковых навигационных систем*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017, 348 с.
- [24] Официальный сайт компании Arduino. URL: <https://www.arduino.cc/> (дата обращения 25.05.2018).
- [25] Официальный сайт компании STM. URL: https://www.st.com/content/st_com/en.html (дата обращения 25.05.2018).
- [26] GNSS ICs.
URL: <http://www.st.com/en/positioning/gnss-ics.html?querycriteria=productId=SC2194> (дата обращения 25.05.2018).
- [27] Официальный сайт компании НАВИА-ГЛОНАСС. URL: <http://naviaglonass.ru/> (дата обращения 25.05.2018).
- [28] GY-91, десятиосный датчик навигации [MPU-9250, BMP-280].
URL: <http://robotparts.ru/products/gy-91> (дата обращения 25.05.2018).
- [29] AD8232 data sheet. URL: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8232.pdf> (дата обращения 25.05.2018).

Цыганкова Ирина Сергеевна — студентка магистратуры кафедры «Системы автоматического управления», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Масленников Андрей Леонидович — ассистент кафедры «Системы автоматического управления», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Задорожная Наталия Михайловна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы автоматического управления», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

PROTOTYPE OF THE SYSTEM FOR MONITORING RUNNING EFFECTIVENESS

I.S. Tsygankova

tsyygankovais@student.bmstu.ru

SPIN-code: 1185-8700

A.L. Maslennikov

amas@bmstu.ru

SPIN-code: 7087-6303

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

Running is very popular among professional and amateur sportsmen. To achieve good training results it is necessary to evaluate training effectiveness. Running dynamics, as indicator for effectiveness measure, typically computed from heart rate and trajectory data. Available on market non-expensive devices do not provide enough accuracy and may not include all necessary sensors. In this paper, we discuss the prototype of the non-expensive system for computing running dynamics. The accurate and smooth trajectory is crucial to compute that characteristics with enough accuracy. In order to achieve it the new method of integration GSNS and IMU measurements is used.

Keywords

Sports tracker, trajectory, running dynamics, GSNS receiver, inertial measurement unit, Arduino, STM32, ECG sensor

Received 19.06.2018

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

References

- [1] Achten J., Jeukendrup A.E. Heart rate monitoring. *Sports Medicine*, 2003, vol. 33, no. 7, pp. 517–538.
- [2] Lambert M.I., Mbambo Z.H., Gibson A. St C. Heart rate during training and competition for longdistance running. *Journal of Sports Sciences*, 1998, vol. 16, no. 1, pp. 85–90.
- [3] Karvonen J., Vuorimaa T. Heart rate and exercise intensity during sports activities. *Sports Medicine*, 1988, vol. 5, no. 5, pp. 303–311.
- [4] Fukushima H., Kawanaka H., Bhuiyan Md. S., Oguri K. Estimating heart rate using wrist-type photoplethysmography and acceleration sensor while running. *Conf. Proc. IEEE. Eng. Med. Biol. Soc.*, 2012, pp. 2901–2904.
- [5] Leger L., Thivierge M. Heart rate monitors: validity, stability, and functionality. *The Physician and Sportsmedicine*, 1988, vol. 16, no. 5, pp. 143–151.
- [6] Laukkanen R.M., Virtanen P.K. Heart rate monitors: state of the art. *Journal of Sports Sciences*, 1998, vol. 16, no. 1, pp. 3–7.
- [7] Ibrahim D., Buruncuk K. Heart rate measurement from the finger using a low-cost microcontroller. Near East University, Faculty of Engineering, TRN, 2005.
- [8] Czinkota M.R., Ronkainen I.A. International marketing. Cengage Learning, 2012, 720 p.
- [9] Zulkifli N.S.A., Che Harun F.K., Azahar N.S. XBee wireless sensor networks for Heart Rate Monitoring in sport training. *Int. Conf. on Biomedical Engineering (ICoBE)*, 2012, pp. 441–444.
- [10] Marchenko I.O., Zueva A.E., Kukhto A.V., Pedonova Z.N. System monitoring and diagnostics of athletes. *Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Journal of Don]*, 2015, no. 2–2. Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3001>.

- [11] Jeukendrup A., Diemen A.V. Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 1998, vol. 16, no. 1, pp. 91–99.
- [12] Cummins C., Orr R., O'Connor H., West C. Global positioning systems (GPS) and micro-technology sensors in team sports: a systematic review. *Sports Medicine*, 2013, vol. 43, no. 10, pp. 1025–1042.
- [13] Waegli A., Skaloud J., Tomé P., Bonnaz J. Assessment of the integration strategy between GPS and body-worn MEMS sensors with application to sports. *Proc. ION GNSS*, 2007, pp. 1–10.
- [14] Wägli A., Skaloud J. Trajectory determination and analysis in sports by satellite and inertial navigation. *EPFL*, 2009, 202 p.
- [15] Bajaj R., Ranaweera S.L., Agrawal D.P. GPS: location-tracking technology. *Computer*, 2002, vol. 35, no. 4 pp. 92–94.
- [16] Modsching M., Kramer R. Field trial on GPS Accuracy in a medium size city: the influence of built-up. *3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication*, 2006, pp. 209–218.
- [17] Freedson P.S., Miller K. Objective monitoring of physical activity using motion sensors and heart rate. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 2000, vol. 71, no. 2, pp. 21–29.
- [18] Brage S., Brage N., Franks P.W., Ekelund U., Wareham N.J. Reliability and validity of the combined heart rate and movement sensor Actiheart. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2005, vol. 59, no. 4, pp. 561–570.
- [19] Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. Global positioning system: theory and practice. Springer, 2001, 382 p.
- [20] Beard R., McLain T. Small unmanned aircraft: theory and practice. Princeton University Press, 320 p. (Russ. ed.: Malye bespilotnye letatel'nye apparaty: teoriya i praktika. Moscow, Tekhnosfera publ., 2015, 312 p.)
- [21] Audoin C., Guinot B. The measurement of time: time, frequency and the atomic clock. Cambridge University Press, 2001, 348 p. (Russ. ed.: Izmerenie vremeni. Osnovy GPS. Tekhnosfera publ., 2002, 383 p.)
- [22] Aughey R.J. Applications of GPS technologies to field sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2011, vol. 6, no. 3, pp. 295–310.
- [23] Mikrin E.A., Mikhaylov M.V. Navigatsiya kosmicheskikh apparatov po izmereniyam ot global'nykh sputnikovykh navigatsionnykh system [Aircraft navigation by measurements from global satellite navigation systems]. Moscow, Bauman Press, 2017, 348 p.
- [24] Ofitsial'nyy sayt kompanii Arduino [Official website of Arduino company]. Available at: <https://www.arduino.cc/> (accessed 25 May 2018).
- [25] Ofitsial'nyy sayt kompanii STM [Official website of STM company]. Available at: https://www.st.com/content/st_com/en.html (accessed 25 May 2018).
- [26] GNSS ICs. Available at: <http://www.st.com/en/positioning/gnss-ics.html?querycriteria=productId=SC2194> (accessed 25 May 2018).
- [27] Ofitsial'nyy sayt kompanii NAVIA-GLONASS [Official website of NAVIA-GLONASS company]. Available at: <http://naviaglonass.ru/> (accessed 25 May 2018 official website).
- [28] GY-91, desyatiyosnyy datchik navigatsii [MPU-9250, BMP-280] [GY-91, ten-axis navigation sensor [MPU-9250, BMP-280]]. Available at: <http://robotparts.ru/products/gy-91> (accessed 25 May 2018).

[29] AD8232 data sheet. Available at:
<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8232.pdf> (accessed 25 May 2018).

Tsygankova I.S. — Master's Degree student, Department of Automatic Control Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Maslennikov A.L. — Assistant, Department of Automatic Control Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — N.M. Zadorozhnaya, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Automatic Control Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.