

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 004.94:519.854
DOI 10.35266/1999-7604-2023-4-7

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ГРУППОВОГО ПРЕСЛЕДОВАНИЯ С ЗАЩИТНИКАМИ

Александр Анатольевич Дубанов

Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, Улан-Удэ, Россия
alandubanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1855-2562>

Аннотация. В статье рассматривается компьютерная модель квазидискретной игры группового преследования с участием преследователей и защитников, задачей которых является достижение статических целей. Достижение одной цели возможно несколькими преследователями в разное время, при этом выигрышем для преследователей можно считать достижение цели хотя бы одним из них, а успешным выполнением задачи для защитников – поражение всех целей. В модели формируется единая среда, при вхождении в которую преследователь считается обнаруженным. Назначение обнаруженному преследователю защитника цели производится по нескольким оптимизационным критериям.

Ключевые слова: преследователь, цель, защитник, погоня, траектория, модель

Для цитирования: Дубанов А. А. Модель автоматизированного распределения в задаче группового преследования с защитниками // Вестник кибернетики. 2023. Т. 22, № 4. С. 52–58. DOI 10.35266/1999-7604-2023-4-7.

Original article

A MODEL OF AUTOMATED DISTRIBUTION OF DEFENDERS DURING GROUP PURSUIT

Aleksandr A. Dubanov

Buryat State University named after D. Banzarov, Ulan-Ude, Russia
alandubanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1855-2562>

Abstract. The article examines a computer model of a quasidiscrete group pursuit game with pursuers and defenders, whose aim is to reach static targets. Several pursuers may reach one target at different time periods. In order to win, at least one pursuer must reach the target, while defenders must eliminate all pursuers to succeed. A model has a unified environment that detects the pursuer as soon as he crosses it. One defender is assigned to the detected pursuer by several optimization criteria.

Keywords: pursuer, target, defender, pursuit, trajectory, model

For citation: Dubanov A. A. A model of automated distribution of defenders during group pursuit. *Proceedings in Cybernetics*. 2023;22(4):52–58. DOI 10.35266/1999-7604-2023-4-7.

ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим начальную ситуацию, когда M преследователей $P_i, i \in [1...M]$ начинают дви-

гаться к N статическим целям $T_j, j \in [1...N]$.

Будем считать, что распределение преследователей по целям уже произведено. Процесс

автоматизированного распределения рассматривался в работах [1, 2]. Преследователи P_i начинают движение в разное время $t_i, i \in [1 \dots N]$. Из K мест локализации защитников $D_k, k \in [1 \dots K]$ защитники начинают движение к преследователям P_i как только преследователи войдут в область обнаружения. Область обнаружения для мест локализации $D_k, k \in [1 \dots K]$ является интегрированной для каждого из защитников. Другими словами, любой объект, входящий в область обнаружения, становится видимым для всех защитников.

В плане выбора оптимизирующего фактора отдельного рассмотрения требует вопрос, когда из одного места локализации начинают движение несколько защитников.

В работах [3–5] рассмотрены основные положения теории игр, на основе которых производился анализ и выбор методов сближения. В работах [6, 7] освещались вопросы автономного наведения на цель, в работах [8–12] – подходы к групповому поведению как преследователей, так и целей. На основе данных работ выстраивалось синхронизированное и оптимизированное групповое поведение защитников.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

1. Формирование начальных положений участников

Будем считать, что каждому из мест локализации защитников $D_k, k = [1 \dots K]$ соответствует свой радиус обнаружения r_k . Тогда для любого вектора X пространства $\mathbb{R}^2$ или $\mathbb{R}^3$ формируется область обнаружения $L_k(X) = \begin{cases} 1, & \text{if } |X - D_k| \leq r_k \\ 0, & \text{if } |X - D_k| > r_k \end{cases}$ для мест локализации защитников D_k .

Тогда единая область обнаружения $L(X)$ будет представлять собой совокупность всех локальных областей обнаружения $L_k(X)$:

$$L(X) = \bigcup_{k=1}^{K} L_k(X).$$

На рис. 1 приведен пример начального расположения преследователей, целей и защитников и единая область обнаружения.

Пусть расчетный период занимает промежуток $t = [0 \dots t_{fin}]$. Время начала движения каждого преследователя P_i составляет $t_i, i \in [1 \dots M]$. Для модуля скорости каждого из преследователей можно составить функцию для иллюстрации раздельного запуска:

$$v_i(t, X) \times \delta(t, t_i), \text{ где } \delta(t, t_i) = \begin{cases} 0, & \text{if } t < t_i \\ 1, & \text{if } t \geq t_i \end{cases}.$$

В примерах модуль скорости преследователей является постоянным $v_i(t, X) = v_i$.

Таким образом, для каждого преследователя P_i можно предложить итерационную схему:

$$\vec{P}_{i,i^*} = \vec{P}_{i,i^*-1} + v_i \times \delta(t, t_i) \times \vec{u}_i,$$

где $\vec{P}_{i,i^*}$ – положение P_i преследователя на i^* шаге итерации,

$\vec{u}_i$ – единичный управляющий вектор.

Хотя движение преследователей является равномерным и прямолинейным, расчет управляющего вектора должен быть взят из библиотеки на основании того, какой стратегии преследования придерживается данный участник.

На рис. 1 представлен первый кадр анимированного изображения [13]. На этом видео можно посмотреть как рассчитываются расстояния от каждого из мест локализации защитников D_k до каждого из обнаруженных преследователей P_i . Напомним, что входя в область обнаружения, преследователь становится заметным для всех защитников.

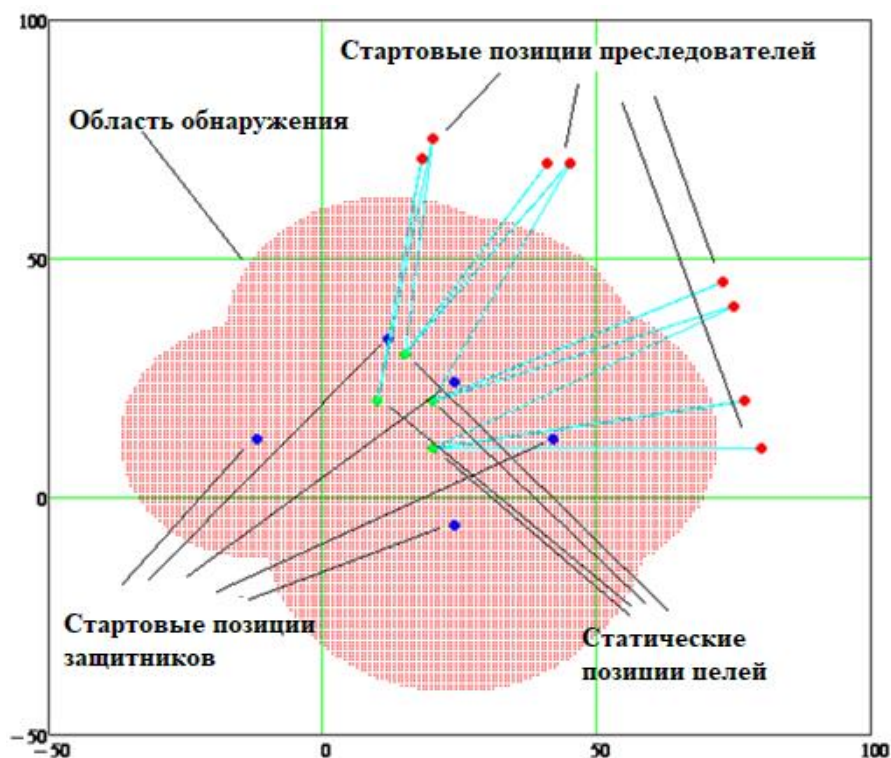


Рис. 1. Начальные положения преследователей, целей и защитников

Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

2. Моделирование поведения защитников

Пусть время входа в зону обнаружения $L(X)$ для каждого из преследователей P_i характеризуется временем t_i^* . Для всех защитников в местах локаций D_k можно предложить следующую итерационную схему:

$$\vec{D}_{i,k,k^*} = \vec{D}_{i,k,k^*-1} + v_k \times \delta(t, t_i^*) \times \vec{W}_{i,k,k^*}, \quad (1)$$

где $\vec{D}_{i,k,k^*}$ – радиус-вектор положения k -го защитника, стремящегося к i -му преследователю на k^* -м шаге итераций;

v_k – модуль скорости равномерного движения k -го защитника;

$$\delta(t, t_i^*) = \begin{cases} 0, & \text{if } t < t_i^* \\ 1, & \text{if } t \geq t_i^* \end{cases} \quad \text{– время входа в зону}$$

$L(X)$ преследователя P_i ;

$\vec{W}_{i,k,k^*}$ – единичный управляющий вектор k -го защитника, стремящегося к i -му преследователю на k^* -м шаге итераций. Рассчитывается по обращению к библиотеке расчета

траекторий для выбора метода преследования. В моделях рассматривается метод погони.

Итерационная схема 1 позволяет при существовании достижения преследователя рассчитать с заданной степенью точности время его достижения, а именно количество итераций до сближения с преследователем.

При сближении с i -м преследователем защитников из локаций $D_k, k \in [1 \dots K]$ рассчитываются предполагаемые значения времени $\{\tau_{i,k}\}, k \in [1 \dots K]$ достижения i -го преследователя защитниками из всех локаций D_k . Из множества значений $\{\tau_{i,k}\}$ следует выбрать минимальное значение $\tau_i^* = \min_k \{\tau_{i,k}\}$.

На рис. 2 представлен первый кадр видео анимированного изображения [14] автоматического назначения преследователю защитника с условиями минимального времени достижения как пример, иллюстрирующий, что как только преследователь зашел в область обнаружения, к нему устремляется защитник, имеющий минимальное время достижения.

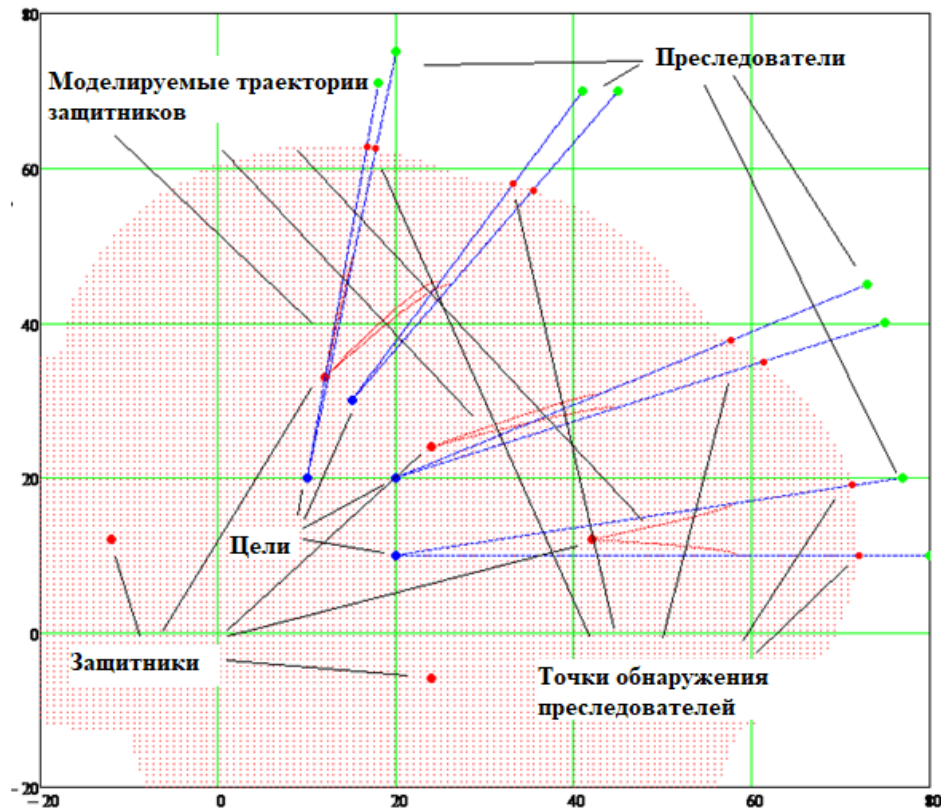


Рис. 2. Распределение защитников по времени преследователей

Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

Рассмотрим вариант автоматического назначения защитника преследователю из соображений минимального начального расстояния [15].

При сближении защитников из локаций $D_k, k \in [1 \dots K]$ с i -м преследователем рассчитываются начальные расстояния $\{s_{i,k} = |\vec{P}_i - \vec{D}_k|, k \in [1 \dots K]\}$. Из множества значений $\{s_{i,k}\}$ следует выбрать минимальное значение $s_i^* = \min_k \{s_{i,k}\}$. Анимированное изображение [15] показывает результаты такого моделирования.

3. Учет ограничений по количеству запускаемых защитников

Для учета ограничений по количеству запускаемых защитников с начальным расстоянием до преследователя из мест локаций $D_k, k \in [1 \dots K]$ с числом ограничения Lim_T также рассмотрены случаи с оптимизирующими факторами времени достижения преследователя.

Для примера рассмотрен случай распределения защитников с минимальным временем достижения преследователя. Рассмотрим матрицу $T_{t,opt}$ расчета времени достижения, в которой индекс защитника расположен по строкам, а индекс преследователя – по столбцам (рис. 3а). На рис. 3с показан результат автоматического распределения защитников по преследователям. Защитник назначается, как только преследователь входит в зону обнаружения из расчетов времен достижения данного преследователя. На рис. 3d показан результат сортировки матрицы распределения для числа Lim_T . На рис. 3b показана подматрица с нераспределенными преследователями – по столбцам, и возможными преследователями – по строкам.

После проведения минимизации по столбцам данной подматрицы получается окончательное распределение защитников по преследователям.

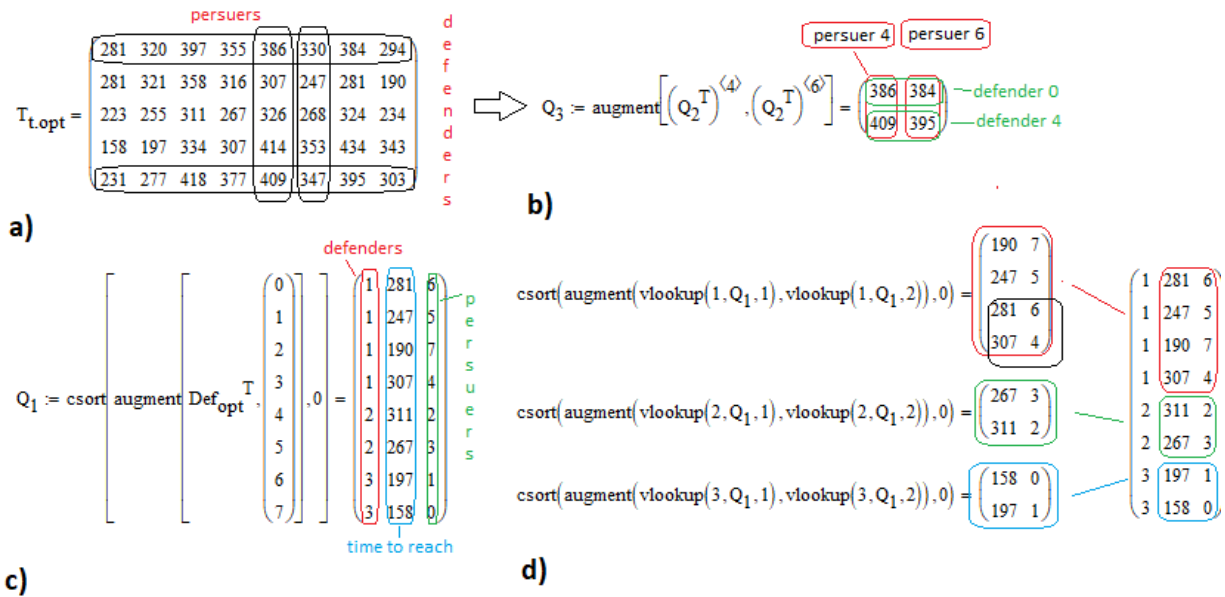


Рис. 3. Результат расчета распределения по времени с ограничением $\text{Lim}_T = 2$

Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

На рис. 4, дополненном анимированным изображением [16], показан пример распределения защитников по преследователям по минимальному времени достижения с ограничением

по количеству запусков из одной локации.

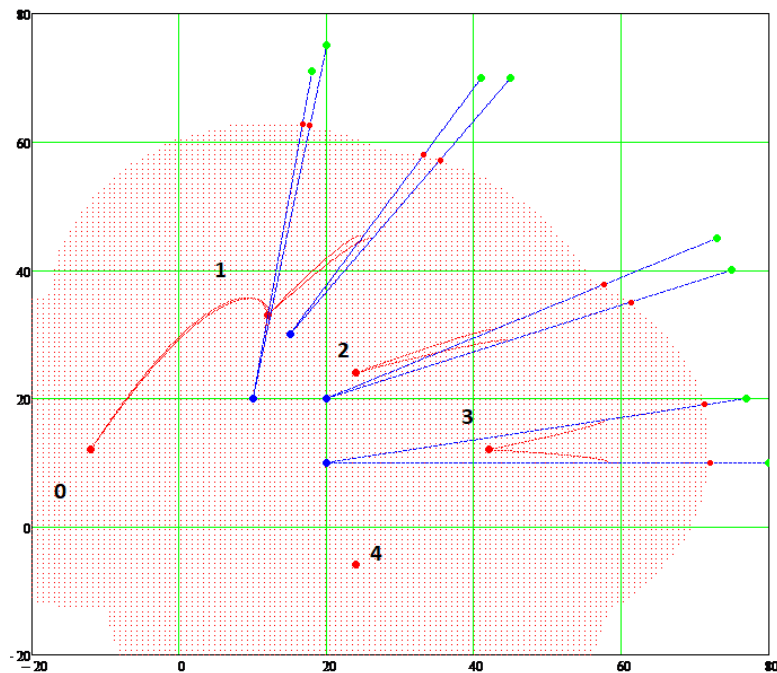


Рис. 4. Пример распределения по времени с ограничением $\text{Lim}_T = 2$

Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

На рис. 5 показан результат распределения защитников по преследователям с момента их обнаружения с ограничением по количеству запусков из одной локации. В качестве

оптимизирующего фактора применяется значение минимального расстояния до преследователя.

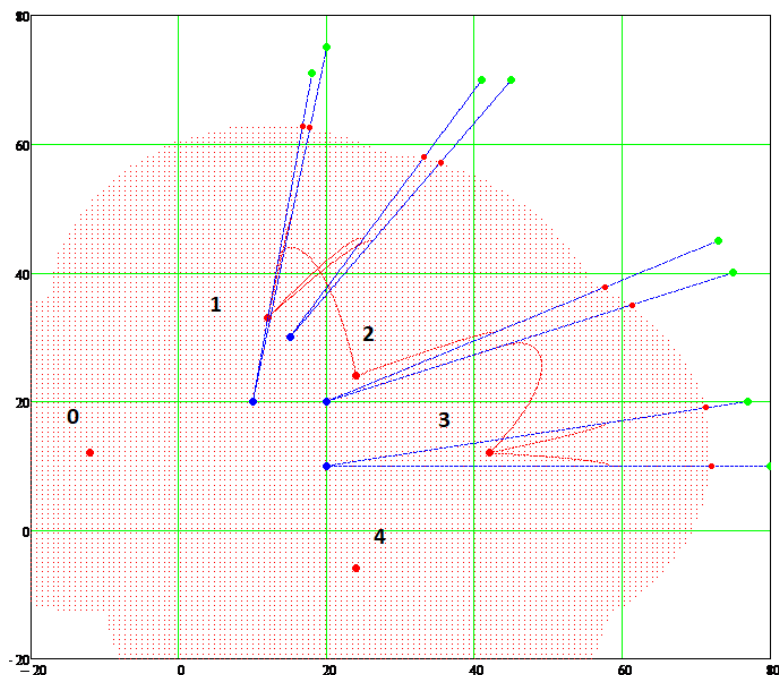


Рис. 5. Пример распределения по расстоянию с ограничением $Lim_r = 3$

Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

Рис. 5 дополнен анимированным изображением [17] для просмотра итерационного процесса группового преследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результатами исследований можно считать разработку компьютерной модели автоматизированного распределения защитников по преследователям. В приведенной компьютерной модели ситуация для защитников не является детерминированной, т. е. защитникам неизвестна информация о количестве преследователей, их скоростных характеристиках, их направленности на цели. Информация о преследователе становится известной для защитников по мере их входа в область обнаружения. Оптимизирующими факторами в моделях являются предполагаемое время достижения преследователя, начальное расстояние до преследователя, допустимое количество защитников, находящихся в одной локации.

В настоящее время информация о компьютерных моделях группового преследования

с автоматическим распределением ролей участникам и моделях с наличием оптимизирующих факторов в открытой печати отсутствует.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На рис. 3 представлена детерминированная обстановка для защитников по числу преследователей, их начальным координатам, целям, которые они преследуют, и их скоростные характеристики. Данный пример приведен только для иллюстрации изменения характера автоматического распределения защитников по преследователям.

При создании антагонистической модели противоборства защитников против преследователей алгоритм для защитников может не включать в себя полное описание стороны преследователей. В описанной модели подразумевается, что преследователю, только что вошедшему в зону обнаружения, назначается защитник в соответствии с оптимизирующим фактором.

Список источников

1. Дубанов А. А. Модель согласованного группового преследования с распределением по целям // Вестник кибернетики. 2023. Т. 22, № 2. С. 21–29. DOI 10.35266/1999-7604-2023-2-21-29.

References

1. Dubanov A. A. A model of cooperated group pursuit with distribution by targets. *Proceedings in Cybernetics*. 2023;22(2):21–29. DOI 10.35266/1999-7604-2023-2-21-29. (In Russian).

2. Дубанов А. А. Методы применения матриц при создании моделей группового преследования // *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don)*. 2023. Т. 23, № 2. С. 191–202. DOI 10.23947/2687-1653-2023-23-2-191-202.
3. Айзекс Р. Дифференциальные игры / пер. с англ. В. И. Аркина, Э. Н. Симаковой. М.: Мир, 1967. 479 с.
4. Красовский Н. Н., Субботин А. И. Позиционные дифференциальные игры. М.: Наука, 1974. 456 с.
5. Петросян Л. А. Дифференциальные игры преследования. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. 232 с.
6. Хачумов М. В. Решение задачи следования за целью автономным летательным аппаратом // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2015. № 2. С. 45–52.
7. Хачумов М. В. Задачи группового преследования цели в условиях возмущений // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2016. № 2. С. 46–54.
8. Банников А. С. Некоторые нестационарные задачи группового преследования // *Известия Института математики и информатики Удмуртского государственного университета*. 2013. № 1. С. 3–46.
9. Абрамянц Т. Г., Маслов Е. П., Яхно В. П. Уклонение групповой цели в трехмерном пространстве // *Автоматика и телемеханика*. 2008. № 5. С. 3–14.
10. Гусятников П. Б. Убегание одного нелинейного объекта от нескольких более инертных преследователей // *Дифференциальные уравнения*. 1976. Т. 12, № 2. С. 213–226.
11. Гусятников П. Б. Дифференциальная игра убегания от лиц // *Известия Академии наук СССР. Техническая кибернетика*. 1978. № 6. С. 22–32.
12. Гусятников П. Б. Дифференциальная игра убегания // *Кибернетика*. 1978. № 4. С. 72–77.
13. Видео, начальные положения преследователей, целей и защитников. URL: <https://youtu.be/rFj6qvaCp4A> (дата обращения: 13.11.2023).
14. Видео, оптимизация по времени достижения. URL: https://youtu.be/gk9_1kfipuQ (дата обращения: 13.11.2023).
15. Видео, оптимизация по минимальному начальному расстоянию между преследователем и защитником. URL: <https://youtu.be/-euOwashsxU> (дата обращения: 13.11.2023).
16. Видео, оптимизация по времени с ограничением на количество пусков отдельного защитника. URL: <https://youtu.be/Z-EA8Us6nJ8> (дата обращения: 13.11.2023).
17. Видео, оптимизация по расстоянию до хищника с ограничением по количеству пусков. URL: https://youtu.be/GjR1o_NC2G8 (дата обращения: 13.11.2023).
2. Dubanov A. A. Methods for applying matrices when creating models of group pursuit. *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don)*. 2023;23(2):191–202. DOI 10.23947/2687-1653-2023-23-2-191-202. (In Russian).
3. Isaacs R. Differential games: A mathematical theory with applications to warfare and pursuit, control and optimization. Arkin V. I., Simakova E. N., translators. Moscow: Mir; 1967. 479 p. (In Russian).
4. Krasovsky N. N., Subbotin A. I. Pozitsionnye differentsialnye igrы. Moscow: Nauka; 1974. 456 p. (In Russian).
5. Petrosyan L. A. Differential games of pursuit. Leningrad: Publishing House of Leningrad University; 1977. 232 p. (In Russian).
6. Khachumov M. V. Reshenie zadachi sledovaniia za tseliu avtonomnym letatelnyim apparatom. *Artificial Intelligence and Decision Making*. 2015;(2):45–52. (In Russian).
7. Khachumov M. V. Zadachi gruppovogo presledovaniia tseli v usloviakh vozmushchenii. *Artificial Intelligence and Decision Making*. 2016;(2):46–54. (In Russian).
8. Bannikov A. S. Some non-stationary problems of group pursuit. *Izvestiia Instituta Matematiki i Informatiki Udmurtskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 2013;1;3–46. (In Russian).
9. Abramyan T. G., Maslov E. P., Yakhno V. P. Evasion of multiple target in three-dimensional space. *Automation and Remote Control*. 2008;(5):3–14. (In Russian).
10. Gusyatinikov P. B. The escape of a certain nonlinear object from several more inert pursuers. *Differentsialnye uravneniia*. 1976;12(2):213–226. (In Russian).
11. Gusyatinikov P. B. Differentsialnaia igra ubeganiia ot lits. *Izvestiia Akademii nauk SSSR. Tekhnicheskai kibernetika*. 1978;(6):22–32. (In Russian).
12. Gusyatinikov P. B. Differentsialnaia igra ubeganiia. *Cybernetics*. 1978;(4):72–77. (In Russian).
13. The initial location of pursuers, aims, and defenders. Video. URL: <https://youtu.be/rFj6qvaCp4A> (accessed: 13.11.2023). (In Russian).
14. The time optimization for pursuit. Video. URL: https://youtu.be/gk9_1kfipuQ (accessed: 13.11.2023). (In Russian).
15. The minimum initial distance optimization for a pursuer and a defender. Video. URL: <https://youtu.be/-euOwashsxU> (accessed: 13.11.2023). (In Russian).
16. Optimization of the time with limited number of running for a certain defender. Video. URL: <https://youtu.be/Z-EA8Us6nJ8> (accessed: 13.11.2023). (In Russian).
17. Optimization of the distance to a pursuer with limited number of running. Video. URL: https://youtu.be/GjR1o_NC2G8 (accessed: 13.11.2023). (In Russian).

Информация об авторе

А. А. Дубанов – кандидат технических наук, доцент.

Information about the author

A. A. Dubanov – Candidate of Sciences (Engineering), Docent.