

УДК 519.687.1

## ОЦЕНКА ИНТЕЛЛЕКТА ГРУППЫ БТС ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕСТИРОВАНИЯ

А.Е. Городецкий (*g27764@yandex.ru*)

Институт Проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург

И.Л. Тарасова (*g17265@yandex.ru*)

Институт Проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург

В.Г. Курбанов (*vugar\_borchali@yahoo.com*)

Институт Проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург

**Аннотация.** *Цель:* Решение проблемы оценки группового интеллекта взаимодействующих БТС по результатам компьютерного моделирования их работы при распознавании и идентификации окружения выбора. *Результат:* Предложены алгоритмы компьютерного моделирования работы системы идентификации каждого члена группы и вычисляемые по результатам моделирования векторные оценки их группового IQ, включающие интегральную оценку эффективности и оценку устойчивости. *Практическое значение:* Использование тестового моделирования позволяет путем машинных экспериментов проводить оценку IQ группы и отбирать членов группы с учетом эффективности выполнения задач идентификации окружения выбора при групповом взаимодействии.<sup>1</sup>

**Ключевые слова:** группа, интеллект, эффективность, БТС, окружение выбора

### Введение

Для правильного принятия решения при ситуационном управлении БТС [Gorodetskiy et al., 2020a], [Gorodetskiy et al., 2017], [Gorodetskiy et al., 2020b], [Gorodetskiy et al., 2019], в том числе и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [Бауэрс, 1991], [Василин, 2017], [Боброва и др., 2016], [Wagner, 1982], особенно важно повышение точности и скорости классификации объектов в окружении выбора. Это во многом определяет качество ситуационного управления без аварийных ситуаций при выполнении поставленных задач обнаружения целей, их идентификации (классификации), выбора метода и

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Государственного задания по контракту № ААА-А19-119120290136-9 и гранта РФФИ № 19-08-00079.

средства уничтожения и ликвидация [Макаренко и др., 2020], [Щепляева и др., 2009], [Семенец и др., 2018], [Иванов, 2011]. Наиболее сложной из них и в наибольшей степени влияющей на достижение цели, является задача обнаружения и классификация целей.

В алгоритмах классификации среди множества изображений  $G$  выделяется множество изображений  $g_{01}$ , относящихся к классу  $o_1$  и присваивается им имя этого класса. Затем среди множества  $O^1 = O \setminus g_{01}$  выделяется множество объектов  $g_{02}$ , относящихся к классу  $o_2$ , затем среди множества оставшихся изображений  $O^2 = O^1 \setminus g_{02}$  выделяется множество изображений  $g_{03}$ , относящиеся к классу  $o_3$  и присваивается им имя этого класса. Далее продолжается процесс подобного отбора до тех пор, пока не будут исчерпаны все изображения из базы данных, т.е.  $((O \setminus g_{01}) \setminus g_{02}) \dots g_{0k} = O^k$ . Если будет так, что все изображения и все эталонные образы базы данных исчерпаны, но останутся не проклассифицированные изображения, т.е.  $O^k \neq \emptyset$ , то этим изображениям присваивается имя нового класса  $(k+1)$  и они временно заносятся в базу данных с этим именем. Таких изображений может быть очень много. В этом случае может быть поставлена задача разбиения  $(k+1)$  класса на новые эталонные образы и соответственно, отнесение этих изображений к вновь введенным эталонам.

Одной из проблем обеспечения требуемой точности алгоритмов классификации являются сложности, возникающие при обработке неполной и противоречивой информации, которая не была или не могла быть учтена при формировании обучающей выборки.

Для преодоления этих трудностей развиваются так называемые структурно-лингвистические методы распознавания. Например, в [Gorodetskiy et al., 2021a], [Gorodetskiy et al., 2021b] предлагаются алгоритмы логико-лингвистической классификации (ЛЛК), которые позволяют достигать высокую скорость классификации при точности классификации порядка 80% и уровне шума до 50%.

## 1. Компьютерное моделирование принятия решений группой БПЛА

Получение при использовании алгоритмов ЛЛК высокой скорости классификации без ухудшения точности за счет вычисления минимальной суммы разностей значений функций принадлежности элементов строк атрибутов эталонов и классифицируемых изображений особенно важно для систем управления БПЛА при их групповом взаимодействии. Поэтому при сравнении интеллекта групп БПЛА с различными вариантами логико-лингвистической классификации можно использовать результаты компьютерного моделирования различных алгоритмов классификации объектов в окружении выбора. Тогда при вычислении группового

интеллекта (IQ группы) будем учитывать IQ каждого члена группы, использующего ЛЛК1 – ЛЛК4 алгоритмы классификации.

При моделировании оценивалась эффективность классификации с фильтрацией помех для следующих  $k = 5$  задач.

При фильтрации помех:

1. до величины максимума в 10% от полезного сигнала
2. до величины максимума в 20% от полезного сигнала
3. до величины максимума в 30% от полезного сигнала
4. до величины максимума в 40% от полезного сигнала
5. до величины максимума в 50% от полезного сигнала

Производилась оценка эффективности следующих алгоритмов классификации целей в окружении выбора.

Алгоритм логико-лингвистической классификации ЛЛК1, в котором решающее правило классификации строится на вычисления минимальной суммы квадратов разностей значений функций принадлежности элементов строк атрибутов эталонов и классифицируемых изображений.

Алгоритм логико-лингвистической классификации ЛЛК2, отличающийся от алгоритма ЛЛК1 тем, что в нем решающее правило классификации строится на вычисления минимальной суммы квадратов разностей значений функций принадлежности, умноженных на коэффициенты значимости элементов строк атрибутов эталонов и классифицируемых изображений.

Алгоритм логико-лингвистической классификации ЛЛК3, отличающийся от алгоритма ЛЛК1 тем, что в нем классификация производится поэтапно по отдельным группам эталонов, а не по всей их совокупности.

Алгоритм логико-лингвистической классификации ЛЛК4, отличающийся от алгоритма ЛЛК3 тем, что в нем классификация производится с учетом коэффициентов значимости групп эталонов.

При тестировании рассматривались следующие группы объектов:  $s_1$ - наземная техника;  $s_2$ - плав средства;  $s_3$  - летательные аппараты;  $s_4$  - люди. При этом все образы объектов характеризовались набором видов атрибутов и значениями их функций принадлежности, назначаемыми группой экспертов. Каждое изображений объектов тестировалось 100 раз.

Значения атрибутов и их коэффициенты значимости задаются экспертами.

В результате тестовых испытаний были получены следующие значения интегральных оценок их эффективности по формуле

$$I = \int_0^2 f(x) dx$$

где:  $f(x)$  - функция точности, а  $x$  – помеха ( $0 \leq x \leq 2$ ).

- для ЛЛК1: минимальная эффективность  $I_{1\min} = 0,3244$ , максимальная  $I_{1\max} = 1,0608$ , средняя  $I_{1\text{mid}} = 0,5583$ .

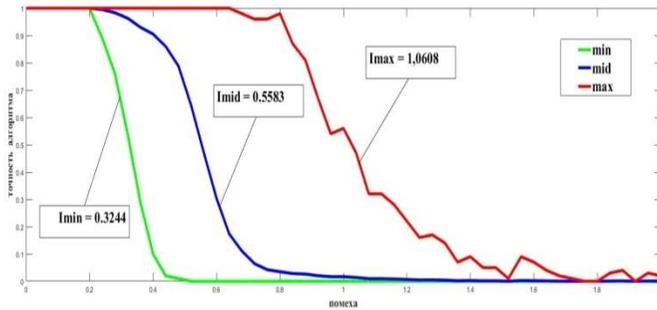


Рис. 1. Результаты моделирования ЛЛК1.

- для ЛЛК2: минимальная эффективность  $I_{2\min} = 0,3000$ , максимальная  $I_{2\max} = 0,9356$ , средняя  $I_{2\text{mid}} = 0,6071$ .

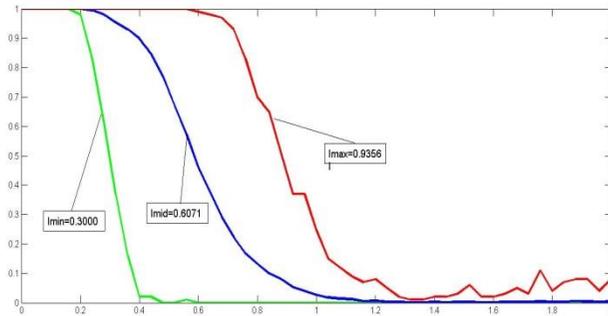


Рис. 2. Результаты моделирования ЛЛК2.

- для ЛЛК3: минимальная эффективность  $I_{3\min} = 0,3312$ , максимальная  $I_{3\max} = 0,8884$ , средняя  $I_{3\text{mid}} = 0,6473$ .

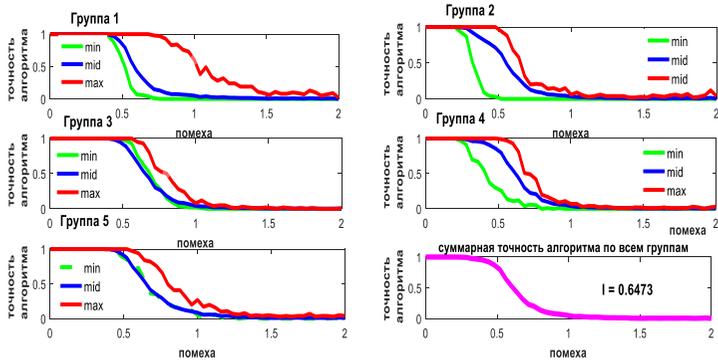


Рис. 3. Результаты моделирования ЛЛК3.

- для ЛЛК4: минимальная эффективность  $I_{4\min} = 0,2980$ , максимальная  $I_{4\max} = 1,3308$ , средняя  $I_{4\text{mid}} = 0,7387$ .

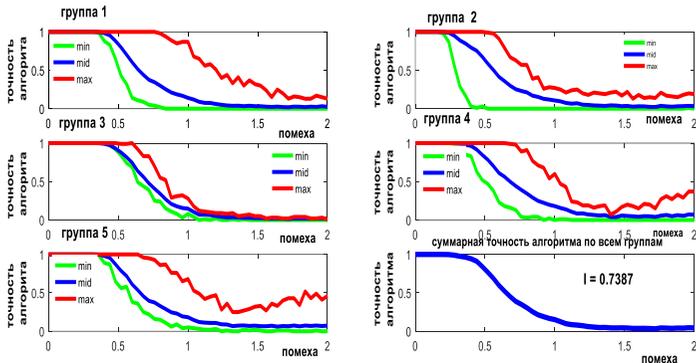


Рис.4. Результаты моделирования ЛЛК4.

Кроме того, для алгоритмов ЛЛК3 и ЛЛК4 были получены эффективности классификации по группам.

Для ЛЛК3:

- по группе объектов  $s_1$ : минимальное  $I_{31\min} = 0,3312$ ; максимальное.  $I_{31\max} = 0,7292$ ; среднее  $I_{31\text{mid}} = 0,5745$ .

- по группе объектов  $s_2$ : минимальное  $I_{32\min} = 0,6916$ ; максимальное.  $I_{32\max} = 0,8174$ ; среднее  $I_{32\text{mid}} = 0,6850$ .

- по группе объектов  $s_3$ : минимальное  $I_{33\min} = 0,4312$ ; максимальное.  $I_{33\max} = 0,7554$ ; среднее  $I_{33\text{mid}} = 0,6402$ .

- по группе объектов  $s_4$ : минимальное  $I_{34\min} = 0,6864$ ; максимальное.

$I_{34\max} = 0,8884$ ; среднее  $I_{34\text{mid}} = 0,7066$ .

Для ЛЛК4:

- по группе объектов  $s_1$ : минимальное  $I_{41\min} = 0,2980$ ; максимальное.  $I_{41\max} = 0,9950$ ; среднее  $I_{41\text{mid}} = 0,6389$ .
- по группе объектов  $s_2$ : минимальное  $I_{42\min} = 0,6804$ ; максимальное.  $I_{42\max} = 0,8994$ ; среднее  $I_{42\text{mid}} = 0,7613$ .
- по группе объектов  $s_3$ : минимальное  $I_{43\min} = 0,5192$ ; максимальное.  $I_{43\max} = 1,1726$ ; среднее  $I_{43\text{mid}} = 0,7722$ .
- по группе объектов  $s_4$ : минимальное  $I_{44\min} = 0,6064$ ; максимальное.  $I_{44\max} = 1,3308$ ; среднее  $I_{44\text{mid}} = 0,7858$ .

## 2. Оценки интеллекта групп БПЛА по результатам тестирования

Оценивался интеллект следующих  $i$ -х ( $i = 1, 2, 3, \dots, 8$ ) групп БПЛА :

- первая группа использовала алгоритм ЛЛК1;
- вторая группа использовала алгоритм ЛЛК2;
- третья группа использовала алгоритм ЛЛК3;
- четвертая группа использовала алгоритм ЛЛК4;
- в пятой группе первый БПЛА использовал алгоритм ЛЛК1, второй использовал алгоритм ЛЛК3 при поиске объектов типа  $s_1$ - наземная техника, третий использовал алгоритм ЛЛК3 при поиске объектов типа  $s_2$ - плав средства, четвертый использовал алгоритм ЛЛК3 при поиске объектов типа  $s_3$  - летательные аппараты, пятый использовал алгоритм ЛЛК3 при поиске объектов типа  $s_4$  - люди;
- в шестой группе первый БПЛА использовал алгоритм ЛЛК1, второй использовал алгоритм ЛЛК4 при поиске объектов типа  $s_1$ - наземная техника, третий использовал алгоритм ЛЛК4 при поиске объектов типа  $s_2$ - плав средства, четвертый использовал алгоритм ЛЛК4 при поиске объектов типа  $s_3$  - летательные аппараты, пятый использовал алгоритм ЛЛК4 при поиске объектов типа  $s_4$  - люди;
- в седьмой группе первый БПЛА использовал алгоритм ЛЛК2, второй использовал алгоритм ЛЛК3 при поиске объектов типа  $s_1$ - наземная техника, третий использовал алгоритм ЛЛК3 при поиске объектов типа  $s_2$ - плав средства, четвертый использовал алгоритм ЛЛК3 при поиске объектов типа  $s_3$  - летательные аппараты, пятый использовал алгоритм ЛЛК3 при поиске объектов типа  $s_4$  - люди;
- в восьмой группы первый БПЛА использовал алгоритм ЛЛК2, второй использовал алгоритм ЛЛК4 при поиске объектов типа  $s_1$ - наземная техника, третий использовал алгоритм ЛЛК4 при поиске объектов типа  $s_2$ - плав средства, четвертый использовал алгоритм ЛЛК4 при поиске объектов типа

$s_3$  - летательные аппараты, пятый использовал алгоритм ЛЛК4 при поиске объектов типа  $s_4$  - люди;

Групповой интеллект оценивался по двум параметрам:

- оценка  $E_i$  интеллектуальных способностей  $i$ -ой группы, содержащей  $j=1, \dots, J$  БПЛА и решающей последовательно усложняющихся  $k=1, \dots, K$  задач:

$$E_i = (1 / J * K) \sum_{j=1}^J I_{jmid} \quad (1),$$

- оценка устойчивости  $\Delta E_i$   $i$ -ой группы, содержащей  $j=5$  БПЛА и решающей последовательно усложняющиеся  $k$  задачи:

$$\Delta E_i = (1 / J * K) \sum_{j=1}^J (I_{jmix} - I_{jmin}) \quad (2),$$

После компьютерного моделирования работы групп БПЛА с алгоритмами логико- лингвистической классификации можно вычислить  $IQ_i$  тестируемых групп БПЛА, объединяя оценки (1) и (2) и вводя весовые коэффициенты по формуле:

$$IQ_i = k_E E_i + k_{\Delta E} / \Delta E_i,$$

где:  $k_E$ ,  $k_{\Delta E}$ , - весовые коэффициенты, устанавливаемые оператором, проводящим тестовое моделирование, в зависимости от назначения тестируемого БПЛА.

Положив  $k_E=1$ ;  $k_{\Delta E}=0.1$ ;  $J=5$ ;  $K=5$  вычисленные после моделирования значения  $IQ_i$  тестируемых групп БПЛА будут следующими:

- для первой группы:  $E_1 = I_{1mid} = 0,5583$ ,  $\Delta E_1 = I_{1max} - I_{1min} = 1,0608 - 0,3244 = 0,7364$ ,

$$IQ_1 = 0,5583 + 0,1/0,7364 = 0,6941.$$

- для второй группы:  $E_2 = I_{2mid} = 0,6071$ ,  $\Delta E_2 = I_{2max} - I_{2min} = 0,9356 - 0,3000 = 0,6356$ ,

$$IQ_2 = 0,6071 + 0,1/0,6356 = 0,7644.$$

- для третьей группы:  $E_3 = I_{3mid} = 0,6473$ ,  $\Delta E_3 = I_{3max} - I_{3min} = 0,8994 - 0,3312 = 0,5682$ ,

$$IQ_3 = 0,6473 + 0,1/0,5682 = 0,8232.$$

- для четвертой группы:  $E_4 = I_{4mid} = 0,7387$ ,  $\Delta E_4 = I_{4max} - I_{4min} = 1,3308 - 0,2980 = 1,0328$ ,

$$IQ_4 = 0,7387 + 0,1/1,0328 = 0,8355.$$

- для пятой группы:  $E_5 = (I_{1mid} + I_{31mid} + I_{32mid} + I_{33mid} + I_{34mid})/5 = (0,5583 + 0,5745 + 0,6850 + 0,6402 + 0,7066)/5 = 0,6329$ ,  $\Delta E_5 = I_{1max} - I_{1min} = 1,0608 - 0,3244 = 0,7364$ ,

$$IQ_5 = 0,6329 + 0,1/0,7364 = 0,7687.$$

- для шестой группы:  $E_6 = (I_{2mid} + I_{31mid} + I_{32mid} + I_{33mid} + I_{34mid})/5 = (0,6071 + 0,5745 + 0,6850 + 0,6402 + 0,7066)/5 = 0,6427$ ,  $\Delta E_6 = I_{2max} - I_{2min} = 0,9356 - 0,3000 = 0,6356$ ,

$$IQ_6 = 0,6427 + 0,1/0,6356 = 0,8000.$$

- для седьмой группы:  $E_7 = (I_{1mid} + I_{41mid} + I_{42mid} + I_{43mid} + I_{44mid})/5 = (0,5583 + 0,6389 + 0,7613 + 0,7722 + 0,7858)/5 = 0,7033$ ,  $\Delta E_7 = I_{44max} - I_{41min} = 1,3308 - 0,2980 = 1,0328$ ,

$$IQ_7 = 0,7033 + 0,1/1,0328 = 0,8001$$

- для восьмой группы:  $E_8 = (I_{2mid} + I_{41mid} + I_{42mid} + I_{43mid} + I_{44mid})/5 = (0,6071 + 0,6389 + 0,7613 + 0,7722 + 0,7858)/5 = 0,7131$ ,  $\Delta E_8 = I_{44max} - I_{41min} = 1,3308 - 0,2980 = 1,0328$ ,

$$IQ_8 = 0,7131 + 0,1/1,0328 = 0,8100.$$

Значения  $I_{jmid}$ ,  $I_{jmax}$ ,  $I_{jmin}$  в расчетных формулах (1) и (2) брались из оценки интеллекта БПЛА по результатам компьютерного моделирования.

Как видно из результатов расчетов IQ использование в алгоритмах классификации коэффициентов значимости повышает уровень IQ группы ( $IQ_2 > IQ_1$ ). Раздельная классификация по группам объектов еще больше повышает уровень IQ ( $IQ_4 > IQ_3 > IQ_2 > IQ_1$ ). Однако из-за неудачного выбора атрибутов и их коэффициентов значимости в моделях объектов (особенно в  $s_1$ , где  $I_{41min} = 0,2980$  и  $I_{31min} = 0,3312$ ) IQ групп БПЛА с пятой по восьмую оказывается ниже, чем в группах три и четыре.

В приведенном примере моделирования предполагалось, что каждый член группы работает автономно и не обменивается информацией с другими членами группы. В противном случае оценки эффективности каждого члена группы будут отличаться в зависимости от работы остальных членов группы.

Кроме приведенных оценок по результатам тестирования могут быть оценки различия в единомыслие членов группы, стабильность и изменчивость рассуждения и другие [Renzulli, 1978], [Renzulli, 1994], [Renzulli et al., 1985]. При этом целесообразно в системы идентификации членов БТС ввести блоки обучения или самообучения и провести соответствующую корректировку алгоритмов их работы.

## Заключение

Использование структурно-лингвистических методов идентификации окружения выбора БТС и алгоритмов логико-лингвистической классификации повышает скорость систем идентификации без ухудшения их точности, что способствует повышению уровня группового интеллекта БТС.

Компьютерное моделирование систем идентификации позволяет оценить влияние помех на эффективность их работы, а так же может быть использовано для настройки или оптимизации их баз данных.

Предложенные оценки IQ групп БПЛА по результатам компьютерного моделирования алгоритмов классификации объектов в окружении выбора могут использоваться для оценки качества работы их систем идентификации, позволяя отбирать лучших претендентов в группу.

После распределения типов целей для членов группы необходима, как показывают результаты компьютерного моделирования, дополнительная настройка и оптимизации коэффициентов значимости атрибутов моделей объектов.

## Список литературы

- [**Gorodetskiy et al., 2020a**] Andrey E. Gorodetskiy, Irina L. Tarasova. Smart Electromechanical Systems. Situational Control. / Studies in Systems, Decision and Control 261, Springer International Publishing, 2020, p.p.3-13, <http://doi.org/10.1007/978-3-030-32710-1>
- [**Gorodetskiy et al., 2017**] A. E. Gorodetskiy, I.L. Tarasova, V.G. Kurbanov. Behavioral Decisions of a Robot Based on Solving of Systems of Logical Equations. A.E. Gorodetskiy and V.G. Kurbanov (eds.), Smart Electromechanical Systems: The Central Nervous System, Studies in Systems, Decision and Control 95,2017, pp.61-71. DOI 10.1007/978-3-319-53327-8\_5.
- [**Gorodetskiy et al., 2020b**] Andrey E. Gorodetskiy. The Principles of Situational Control SEMS Group. / Andrey E. Gorodetskiy, Irina L. Tarasova. Smart Electromechanical Systems. Situational Control. / Studies in Systems, Decision and Control 261, Springer International Publishing, 2020, p.p.3-13, [http://doi.org/10.1007/978-3-030-32710-1\\_1](http://doi.org/10.1007/978-3-030-32710-1_1)
- [**Gorodetskiy et al., 2019**] Andrey E. Gorodetskiy, Irina L. Tarasova. Situational Control a Group of Robots Based on SEMS. In: Gorodetskiy A., Tarasova I. (eds), Smart Electromechanical Systems. Group Interaction / Studies in Systems, Decision and Control 174, Springer International Publishing, 2019, pp.9-18. [http://doi.org/10.1007/978-3-319-99759-9\\_2](http://doi.org/10.1007/978-3-319-99759-9_2)
- [**Бауэрс, 1991**] Бауэрс П. Летательные аппараты нетрадиционных схем. / Бауэрс П. М.: Мир, 1991,320 с.
- [**Василин, 2017**] Василин Н. Я. Беспилотные летательные аппараты. / Н. Я. Василин. Минск «Попурри» , 2017, 272 с.
- [**Боброва и др., 2016**] Боброва А. С., Безденежных С. И. Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами: конф. г. Коломна, 2016, 274 с, с. 106
- [**Wagner, 1982**] Wagner, William (1982), Lightning Bugs and other Reconnaissance Drones; The can-do story of Ryan's unmanned spy planes, Armed Forces Journal International : Aero Publishers, ISBN 978-0-8168-6654-0
- [**Макаренко и др., 2020**] Макаренко С. И., Тимошенко А. В., Васильченко А. С. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 1. Беспилотный летательный аппарат как объект обнаружения

- и поражения // Научная статья в № 1 от 2020 г. журнала «Системы управления, связи и безопасности». ISSN 2410-9916.. С. 109—146.
- [Цепляева и др., 2009]** Цепляева Т.П., Морозова О.В. Этапы развития беспилотных летательных аппаратов. М., «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии», № 42, 2009.
- [Семенец и др., 2018]** Семенец В. О., Трухин М. П. Способы противодействия беспилотным летательным аппаратам // Научная статья в томе 10, № 3 от 2018 г. журнала «Научные технологии в космических исследованиях Земли». ISSN 2409-5419 (2412—1363). doi: 10.24411/2409-5419-2018-10070. С. 4-12.
- [Иванов, 2011]** Иванов Д. Я. Методы роевого интеллекта для управления группами малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Научная статья в № (томе) 3 от 2011 г. журнала «Известия Южного федерального университета. Технические науки». ISSN 1999-9429 (2311-3103). С. 221-229
- [Gorodetskiy et al., 2021a]** Andrey E. Gorodetskiy, Irina L. Tarasova, Vugar G. Kurbanov. Classification of Images in Decision Making in the Central Nervous System of SEMS. In: Smart Electromechanical Systems: Behavioral decision making. /Studies in Systems, Decision and Control, Vol. 352, Springer International Publishing, 2021. pp. 187-197. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-68172-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-68172-2_15).
- [Gorodetskiy et al., 2021b]** Andrey E. Gorodetskiy, Irina L. Tarasova. Image classification system in the SEMS selection environment. In: Smart Electromechanical Systems: Behavioral decision making. /Studies in Systems, Decision and Control, Vol. 352, Springer International Publishing, 2021. pp.197-200. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-68172-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-68172-2_16).
- [Renzulli, 1978]** Renzulli, J.S. (1978). What Makes Giftedness? Reexamining a Definition. *Phi Delta Kappan*, 60(3), 180—184, 261.
- [Renzulli, 1994]** Renzulli, J.S. (1994). *Schools for talent development: A practical plan for total school improvement*. Mansfield Center, CT: Creative Learning Press.
- [Renzulli et al., 1985]** Renzulli, J.S., & Reis, S.M. (1985). *The schoolwide enrichment model: A comprehensive plan for educational excellence*. Mansfield Center, CT: Creative Learning Press.