

УДК 629.3.07:629.1.05

## ОПТИМИЗАЦИЯ АППАРАТНОГО СОСТАВА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО И УПРАВЛЯЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В. Н. Ефанов<sup>1</sup>, Л. Р. Саяпова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>efanov@mail.ru, <sup>2</sup>bezdna.06@list.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 22.08.2018

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы формирования программно-аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем на основе компонент высокой степени готовности. Представленная функциональная модель информационно-измерительного и управляющего комплекса интеллектуальных транспортных систем позволяет унифицировать программно-аппаратную среду при реализации широкого класса проектов, имеющих региональную и ведомственную специфику. Использование стандартных открытых архитектур информационно-вычислительных систем создает широкие возможности для их расширяемости, мобильности и интероперабельности, что обеспечивает хорошие предпосылки для дальнейшего развития интеллектуальной системы.

**Ключевые слова:** интеллектуальные транспортные системы; управление транспортными потоками; транспортная инфраструктура; функциональная модель; векторный критерий; ранжирование.

### ВВЕДЕНИЕ

Практическая реализация концепции построения интеллектуальных транспортных систем (ИТС) требует создания разветвленной дорожно-транспортной, транспортно-технологической, транспортно-сервисной и информационной инфраструктуры [1–3]. В рамках этой инфраструктуры необходимо разработать информационно-измерительный и управляющий комплекс, объединяющий функции диспетчерского, оперативного и ситуационного взаимодействия вовлеченных служб, ведомств и иных субъектов транспортной системы [4]. Разработка подобного комплекса должна опираться на научные принципы формирования его аппаратного состава, позволяющие оптимизировать технические, эксплуатационные и экономические характеристики. С этой целью рассмотрим совокупность функций, возлагаемых на

информационно-измерительный и управляющий комплекс ИТС:

- управление транспортными потоками с целью повышения ритмичности грузоперевозок за счет увеличения пропускной способности транспортной сети города и формирования предупредительной информации о сложившейся дорожной ситуации;
- обеспечение условий для повышения эффективности работы транспортных средств за счет предоставления дополнительных услуг, включающих актуальную информацию об условиях транспортировки грузов и пассажиров, контроль текущего местонахождения груза и его состояние и т.д.;
- оперативное выявление нарушений, допущенных водителями, в том числе выявление фактов нарушения правил дорожного движения и умышленного злоупотребления, совершаемого в корыстных целях;

- создание условий для предупреждения возможных нарушений, включая доведение информации до водителей о различных по напряженности условиях дорожного движения, предупреждения о необходимости повышения внимания водителями исходя из текущего и краткосрочного прогноза условий дорожного движения, оперативное предоставление информации специальным службам при возникновении ДТП или других опасных ситуациях на транспорте.

Для реализации перечисленных функций в состав информационно-измерительного и управляющего комплекса должны входить следующие пассивные и активные элементы [5, 6]:

- объекты транспортной инфраструктуры, подлежащие оснащению средствами производства измерений, передачи, ретрансляции и приема сигналов;
- средства дистанционного мониторинга и производства измерений;
- элементы информационно-телекоммуникационной инфраструктуры транспортного комплекса;
- транспортные средства и грузы, подлежащие оснащению средствами связи, дистанционного мониторинга и телеметрических измерений;
- дистанционно управляемые исполнительные и индикационные устройства – приборы, узлы и агрегаты.

Сформируем на базе перечисленных элементов функциональную модель информационно-измерительного и управляющего комплекса ИТС.

### ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО И УПРАВЛЯЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ИТС

Взаимодействие перечисленных элементов информационно-измерительного и управляющего комплекса в процессе создания информационной картины дорожной ситуации и оптимизации движения транспортных средств показано на рис. 1, на котором представлена функциональная модель комплекса.

В ее состав входят: совокупность дистанционно управляемых исполнительных и индикационных устройств (блок 1); элементы информационно-телекоммуникационной инфраструктуры транспортного комплекса – приемник GPRS (блок 2), бортовой компьютер (блок 3), приемник GPS (блок 4); транспортное средство, подлежащее оснащению средствами связи, дистанционного мониторинга и телеметрических измерений (блок 5); исполнительное и индикационное оборудование (блок 6). В качестве механизмов, регламентирующих выполнение функций, используются методы, стандарты и технологии, которые позволяют комплексу

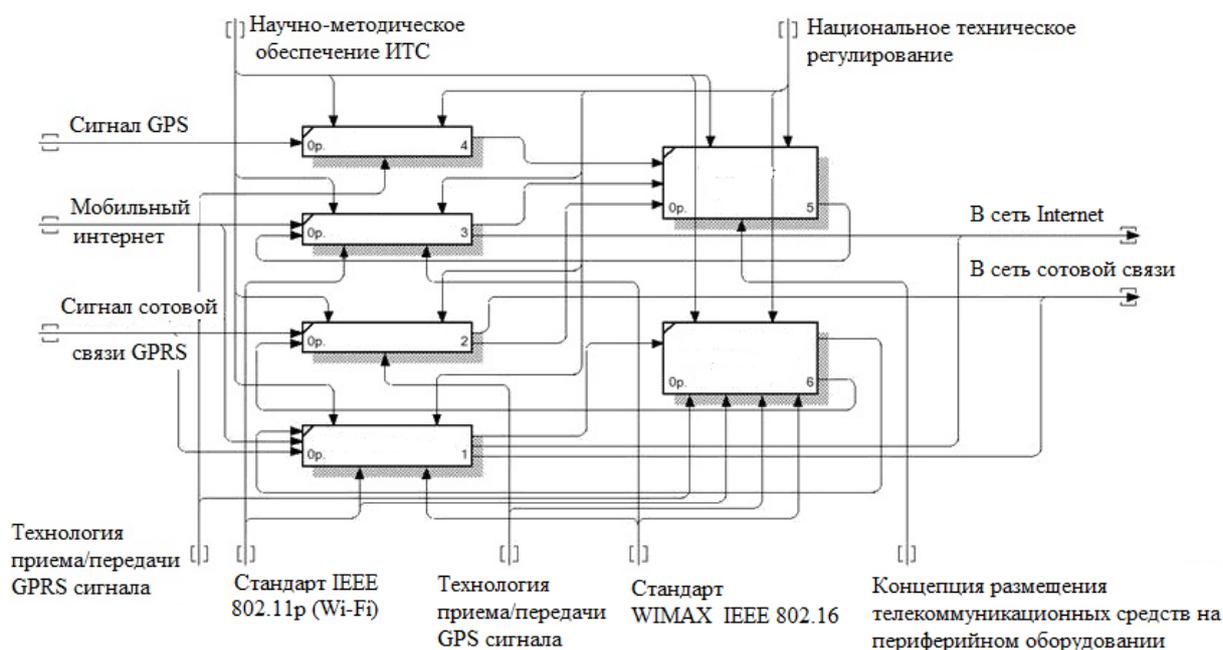


Рис. 1. Функциональная модель информационно-измерительного и управляющего комплекса ИТС

осуществлять контроль за дорожной обстановкой и регулировать транспортные потоки. К основным механизмам относятся стандарты мобильного Интернета IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.16 (Wireless MAN - WiMAX) и мобильной связи – GPRS. Необходимость использования обеих технологий обусловлена тем, что каждая из них обладает целым рядом особенностей, которые обеспечивают им преимущества в зависимости от характера решаемой задачи [7].

Информация, управляющая работой комплекса, включает основную эксплуатационную документацию и нормативные правовые акты регулирующие функционирование ИТС, к ним относятся: «Научно-методическое обеспечение ИТС» «Национальное техническое регулирование ИТС».

Процедура формирования оптимального аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса включает две взаимосвязанные задачи:

- формирование критерия оптимальности, адекватного целям проектирования;
- выбор оптимальной проектной альтернативы из множества допустимых вариантов.

Таким образом, задача создания оптимального аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса интеллектуальной транспортной системы может быть сформулирована следующим образом: необходимо выбрать набор устройств, который позволит реализовать всю совокупность функций, возлагаемых на разрабатываемый комплекс, и окажется оптимальным с точки зрения векторного критерия эффективности.

#### АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ АППАРАТНОГО СОСТАВА ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО И УПРАВЛЯЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ИТС

Первое условие в сформулированной задаче оптимизации определяет ограничения, в рамках которых должна решаться оптимизационная задача. А второе – специфику выбора варианта, отвечающего заданным требованиям к тактико-техническим харак-

теристикам разрабатываемых устройств. К числу таких характеристик относятся:

- суммарный объем изделия (*Objem*);
- масса изделия (*Massa*);
- цена изделия (*Price*);
- оценка эффективности работы (*Ozenka*).

В качестве оценки эффективности работы предлагается использовать экспертные оценки способности данного набора устройств выполнять требуемые функции, заданные на универсальной стобалльной шкале.

Рассмотрим вначале исходную совокупность устройств, необходимых для реализации заявленных функций.

Эта совокупность, совместно с характеристиками, сведена в табл. 1.

Из перечисленного набора устройств составим возможные варианты аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС. При этом следует учесть, чем больше сформировано возможных вариантов, тем больше вероятность получить наиболее качественное решение.

В данном конкретном примере было сформировано десять вариантов аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса, которые приведены в табл. 2.

Специфика задачи оценки по векторному критерию состоит в том, что ее решение будет заведомо субъективным, поскольку аксиома В. Парето утверждает невозможность, в общем случае, строгого математического доказательства существования максимально предпочтительного варианта по нескольким показателям. Для того чтобы оценки сформированных вариантов были максимально обоснованными, выработка решающего правила должна осуществляться в строгом соответствии с объемом достоверной информации о свойствах используемых оценочных функций. Наименее субъективным представляется подход, при котором происходит ранжирование вариантов по каждому из учитываемых показателей, а в качестве обобщенной оценочной функции

берется сумма рангов. В связи с этим лучший вариант будем выбирать, используя описанный метод ранжирования.

Таблица 1

**Исходная совокупность устройств**

Изде-де-лие	Наимено-вание	Объем, м <sup>3</sup>	Мас-са, кг	Цена, руб.	Оцен-ка эф-фек-тив-ности рабо-ты
<b>Дорожный контроллер</b>					
1	ДК «Каскад» ДК Л2	0,084	35	33645	75
2	ДК «Каскад» ДК Л4	0,084	35	38718	80
3	ДК «Каскад» ДК Л6	0,084	35	43762	70
4	ДК «Каскад» ДК Л8	0,084	35	48804	95
<b>Детектор транспорта</b>					
1	DT 272 производства ASIM	0,026	1,6	12600	73
2	TT 262 производства ASIM	0,147	0,7	14000	85
3	IR 254 производства ASIM	0,0208	1,28	7392	77
<b>Видеокамера купольного вида</b>					
1	MSB-K1	0,0065	0,4	3150	85
2	RVi-123ME	0,0042	0,2	4000	77
3	MSB-K2	0,0065	0,4	2310	67
<b>100 мегабитный коммутатор</b>					
1	D-link DIR-100	0,0005	0,213	1620	77
2	D-Link DES-1005A	0,0002	0,120	4900	83
3	D-link DGS-1100-08	0,0005	0,42	4490	94
<b>Гигабитный коммутатор</b>					
1	Cisco SRW2008MP	0,0021	1,2	17130	78
2	D-link DES-3526	0,0040	2,56	16868	92
3	3COM Baseline Plus Switch 2952	0,0042	5	18361	71

Таблица 2

**Варианты аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса**

1	2
<b>Вариант 1</b>	
<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л2
<i>Детектор транспорта</i>	DT 272 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	MSB-K1
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-link DIR-100
<i>Гигабитный коммутатор</i>	Cisco SRW2008MP
<b>Вариант 2</b>	
<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л4
<i>Детектор транспорта</i>	TT 262 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	RVi-123ME
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-Link DES-1005A
<i>Гигабитный коммутатор</i>	D-link DES-3526
<b>Вариант 3</b>	
<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л6
<i>Детектор транспорта</i>	IR 254 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	MSB-K2
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-link DGS-1100-08
<i>Гигабитный коммутатор</i>	3COM Baseline Plus Switch 2952
<b>Вариант 4</b>	
<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л8
<i>Детектор транспорта</i>	DT 272 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	MSB-K1
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-link DIR-100
<i>Гигабитный коммутатор</i>	Cisco SRW2008MP
<b>Вариант 5</b>	
<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л8
<i>Детектор транспорта</i>	TT 262 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	RVi-123ME
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-Link DES-1005A
<i>Гигабитный коммутатор</i>	D-link DES-3526

Окончание табл. 2

1	2
<b>Вариант 6</b>	
Дорожный контроллер	ДК «Каскад» ДК Л8
Детектор транспорта	IR 254 производства ASIM
Видеокамера купольного вида	MSB-K2
100 мегабитный коммутатор	D-link DGS-1100-08
Гигабитный коммутатор	3COM Baseline Plus Switch 2952
<b>Вариант 7</b>	
Дорожный контроллер	ДК «Каскад» ДК Л8
Детектор транспорта	DT 272 производства ASIM
Видеокамера купольного вида	RVi-123ME
100 мегабитный коммутатор	D-link DGS-1100-08
Гигабитный коммутатор	D-link DES-3526
<b>Вариант 8</b>	
Дорожный контроллер	ДК «Каскад» ДК Л2
Детектор транспорта	TT 262 производства ASIM
Видеокамера купольного вида	MSB-K2
100 мегабитный коммутатор	D-link DGS-1100-08
Гигабитный коммутатор	3COM Baseline Plus Switch 2952
<b>Вариант 9</b>	
Дорожный контроллер	ДК «Каскад» ДК Л4
Детектор транспорта	DT 272 производства ASIM
Видеокамера купольного вида	RVi-123ME
100 мегабитный коммутатор	D-Link DES-1005A
Гигабитный коммутатор	Cisco SRW2008MP
<b>Вариант 10</b>	
Дорожный контроллер	ДК «Каскад» ДК Л8
Детектор транспорта	IR 254 производства ASIM
Видеокамера купольного вида	RVi-123ME
100 мегабитный коммутатор	D-link DIR-100
Гигабитный коммутатор	Cisco SRW2008MP

Ранжирование начнем с расчета суммарных характеристик для каждого варианта.

$$Sum\_Massa_j = \sum_{k=1}^M Massa_k ;$$

$$Sum\_Objem_j = \sum_{k=1}^M Objem_k ;$$

$$Sum\_Price_j = \sum_{k=1}^M Price_k ;$$

$$Sum\_Ozenka_j = \sum_{k=1}^M Ozenka_k, (j = \overline{1, R}),$$

где  $M$  – число функциональных групп используемого оборудования,  $R$  – число сформированных вариантов аппаратного облика.

Результаты расчетов сведены в табл. 3.

Таблица 3

## Суммарные характеристики аппаратуры

Вариант	Объем, м <sup>3</sup>	Масса, кг	Цена, руб.	Оценка эффективности
1	0,1188	38,323	68145	388
2	0,2396	38,68	79979	417
3	0,1163	42,2	76315	379
4	0,1191	38,413	83304	408
5	0,2394	38,58	88572	432
6	0,1164	42,1	81357	403
7	0,1187	39,78	86762	431
8	0,2423	41,52	72806	392
9	0,1165	38,12	77348	391
10	0,1116	37,893	78946	404

Проведем сортировку вариантов по каждому из выбранных критериев. Результаты ранжирования по критерию эффективности приведены в табл. 4.

Таблица 4

## Ранжирование по оценке эффективности работы

Ранг	Вариант	Объем, м <sup>3</sup>	Масса, кг	Цена, руб.	Оценка эффективности
1	3	0,1163	42,2	76315	379
2	1	0,1188	38,323	68145	388
3	9	0,1165	38,12	77348	391
4	8	0,2423	41,52	72806	392
5	6	0,1164	42,1	81357	403
6	10	0,1116	37,893	78946	404
7	4	0,1191	38,413	83304	408
8	2	0,2396	38,68	79979	417
9	7	0,1187	39,78	86762	431
10	5	0,2394	38,58	88572	432

Вариант 5 оказался лучшим по выбранному показателю. Но он не является без-

условно лучшим, так как уступает остальным вариантам по объему, цене и массе.

Поэтому проведем сортировку по оставшимся критериям (табл. 5–7).

Таблица 5

**Ранжирование по массе**

Ранг	Вариант	Объем, м <sup>3</sup>	Масса, кг	Цена, руб.	Оценка эффективности
1	3	0,1163	42,2	76315	379
2	6	0,1164	42,1	81357	403
3	8	0,2423	41,52	72806	392
4	7	0,1187	39,78	86762	431
5	2	0,2396	38,68	79979	417
6	5	0,2394	38,58	88572	432
7	4	0,1191	38,413	83304	408
8	1	0,1188	38,323	68145	388
9	9	0,1165	38,12	77348	391
10	10	0,1116	37,893	78946	404

Таблица 6

**Ранжирование по объему**

Ранг	Вариант	Объем, м <sup>3</sup>	Масса, кг	Цена, руб.	Оценка эффективности
1	8	0,2423	41,52	72806	392
2	2	0,2396	38,68	79979	417
3	5	0,2394	38,58	88572	432
4	4	0,1191	38,413	83304	408
5	1	0,1188	38,323	68145	388
6	7	0,1187	39,78	86762	431
7	9	0,1165	38,12	77348	391
8	6	0,1164	42,1	81357	403
9	3	0,1163	42,2	76315	379
10	10	0,1116	37,893	78946	404

Таблица 7

**Ранжирование по цене**

Ранг	Вариант	Объем, м	Масса, кг	Цена, руб	Оценка эффективности
1	5	0,2394	38,58	88572	432
2	7	0,1187	39,78	86762	431
3	4	0,1191	38,413	83304	408
4	6	0,1164	42,1	81357	403
5	2	0,2396	38,68	79979	417
6	10	0,1116	37,893	78946	404
7	9	0,1165	38,12	77348	391
8	3	0,1163	42,2	76315	379
9	8	0,2423	41,52	72806	392
10	1	0,1188	38,323	68145	388

Присвоим каждому варианту ранги согласно его положению в предыдущих таблицах (табл. 8). На основе полученных данных для каждого варианта находим суммарные ранги

$$Sum\_Rank_j = Rank\_Massa_j + Rank\_Objem_j + Rank\_Price_j + Rank\_Ozenka_j, \\ (j = \overline{1, R}).$$

Таблица 8

**Суммарный ранг**

№	Ранг массы	Ранг объема	Ранг цены	Ранг оценки эффективности	Суммарный ранг
1	8	5	10	2	25
2	5	2	5	8	20
3	1	9	8	1	19
4	7	4	3	7	21
5	2	3	1	10	16
6	5	8	4	5	22
7	4	6	2	9	21
8	3	1	9	4	17
9	9	7	7	3	26
10	10	10	6	6	32

Выбор оптимальной проектной альтернативы из множества допустимых вариантов осуществляется следующим образом

$$r = \arg \min_j Sum\_Rank_j, (j = \overline{1, R}).$$

Таким образом находим, что оптимальным вариантом аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса является вариант 10 (табл. 9).

Таблица 9

**Оптимальный состав аппаратуры информационно-измерительного и управляющего комплекса**

Дорожный контроллер	ДК «Каскад» ДК Л8
Детектор транспорта	IR 254 производства ASIM
Видеокамера купольного вида	RVi-123ME
100 мегабитный коммутатор	D-link DIR-100
Гигабитный коммутатор	Cisco SRW2008MP

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Представленный в данной работе способ формирования аппаратного состава инфор-

мационно-измерительного и управляющего комплекса на базе компонент высокой степени готовности позволяет устранить противоречия, возникающие при оптимизации технических, эксплуатационных и экономических показателей, за счет использования метода обобщенных рангов, обеспечивающего получение объективно обоснованных компромиссных решений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Жанказиев С. В.** Научные подходы к формированию концепции построения интеллектуальных транспортных систем в России // Межотраслевой журнал навигационных технологий ГЛОНАСС. 2012. № 1 (4). С. 27–31. [ S. V. Zhankaziev, "Scientific approaches to the formation of the concept of intelligent transport systems in Russia", (in Russian), in *Mezhotraslevoj zhurnal navigacionnyh tekhnologij GLONASS*, no. 1 (4). pp. 27-31, 2012. ]
2. **Солодкий А. И.** Развитие интеллектуальных транспортных систем в России – проблемы и пути их решения // Наука и техника в дорожной отрасли. 2017. № 1 (79). С. 18–20. [ A. I. Solodskiy, "Development of intelligent transport systems in Russia – problems and ways to solve them", (in Russian), in *Nauka i tekhnika v dorozhnoj otrasli*, no. 1 (79). pp. 18-20, 2017. ]
3. **Ефанов В. Н., Саяпова Л. Р.** Принципы формирования телематической платформы для интеллектуальных транспортных систем // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2011. № 12, С. 121-127 [ V. N. Efanov, L. R. Sayapova, "Principles of formation of a telematics platform for intelligent transport systems", (in Russian), in *Informacionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy*, no. 12, pp. 121-127, 2011. ]
4. **Жанказиев С. В.** Интеллектуальные транспортные системы: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2016. 120 с. [ S. V. Zhankaziev, *Intelligent transport systems*, (in Russian). Moscow: MADI, 2016. ]
5. **Кременец Ю. А., Печерский М. П., Афанасьев М. Б.** Технические средства организации дорожного движения. М.: Академкнига, 2005. 279 с. [ Y. A. Kremenets, M. P. Pechersky, M. B. Afanasiev, *Technical means of traffic organization*, (in Russian) М.: Akademkniga, 2005. ]
6. **Бачманов М. Д., Гаврилюк М. В.** Лоцирование детекторов транспортного потока в задачах адаптивного управления светофорными объектами // Автоматизация и управление в технических системах. 2015. № 3 (15). С. 117–124. [ M. D. Bachmanov, M. V. Gavriilyuk, "Location of traffic flow detectors in problems of adaptive control of traffic light objects", (in Russian), in *Avtomatizaciya i upravlenie v tekhnicheskikh sistemah*, no. 3 (15). pp. 117-124, 2015. ]
7. **Носкова А. И., Токранова М. В.** Обзор автоматизированных систем мониторинга // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2017. № 1(9). С. 42-47 [ M. D. Bachmanov, M. V. Gavriilyuk, "Location of traffic flow detectors in problems of adaptive control of traffic light objects", (in Russian), in *Intellektual'nye tekhnologii na transporte*, no. 3 (15). pp. 117-124, 2015. ]

#### ОБ АВТОРАХ

**ЕФАНОВ Владимир Николаевич**, проф. каф. электроники и биомедицинских технологий. Дипл. инж.-электр. (УАИ, 1973). Д-р техн. наук по упр. в техн. системах (УГАТУ, 1995). Иссл. в обл. созд. интеллектуал. комплексов бортового оборудования.

**САЯПОВА Линера Радиковна**, ст. преп. каф. электроники и биомедицинских технологий. М-р техн. и технол. (УГАТУ, 2008). Иссл. в обл. созд. инф.-изм. и упр. комплексов для интеллектуал. транспортных систем.

#### METADATA

**Title:** Optimization of the hardware composition of the information-measuring and controlling complex for intelligent transport systems.

**Authors:** V. N. Efanov<sup>1</sup>, L. R. Sayapova<sup>2</sup>

**Affiliation:** Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>efanov@mail.ru, <sup>2</sup>bezdna.06@list.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 22, no. 4 (82), pp. 132-138, 2018. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** The questions of formation of software and hardware composition of information-measuring and control complex for intelligent transport systems on the basis of components of high degree of readiness are considered.

**Key words:** intelligent transport systems; traffic management; transport infrastructure; functional model; vector criterion; ranking.

#### About authors:

**EFANOV, Vladimir Nikolaevich**, Prof., Dept. of Electronics and biomedical technologies. Dipl. Electronic Engineer (UAI, 1973). Ph. D., Control Systems, (UAI, 1977). D.Sc. (Full Doctor), Control in Technical Systems (USATU, 1995). Research in the area of avionics systems intellectualized.

**SAYAPOVA, Linera Radikovna**, Senior lecturer, Dept. of Electronics and biomedical technologies. Master of Engineering and Technology (USATU, 2008). Research in the area of information-measuring and control systems for intelligent transport systems.