

УДК 621.391.825

А.О. Белоусов, В.О. Гордеева

Оптимизация модального фильтра с лицевой связью по алгоритму эволюционных стратегий с ограничениями

Рассматривается оптимизация модального фильтра с лицевой связью по алгоритму эволюционных стратегий с установлением ограничений. Под ограничениями понимается задание диапазонов значений изменения геометрических параметров модального фильтра. Продемонстрирована работоспособность этого алгоритма и показаны его основные достоинства и недостатки.

Ключевые слова: оптимизация, эволюционные стратегии, модальный фильтр, эволюционные алгоритмы, сверхкороткий импульс.

В современном обществе радиоэлектронная аппаратура (РЭА) стала распространенной и неотъемлемой частью жизни, а ее корректное функционирование – залогом безопасности и спокойствия. Широкое распространение РЭА повлекло за собой появление нового вида угрозы – электромагнитного терроризма (ЭМТ). Суть ЭМТ состоит в дестабилизации или разрушении РЭА [1, 2]. Сверхкороткие импульсы (СКИ) являются частным случаем преднамеренных электромагнитных импульсов, выступающим в качестве средства ЭМТ, способного вывести РЭА из строя. СКИ представляют собой импульсные сигналы большой амплитуды и малой длительности, которые могут проникать в РЭА различными способами, например по цепям питания [3].

Для защиты РЭА от СКИ предложена технология модальной фильтрации, принцип действия которой заключается в разложении СКИ на последовательность импульсов меньшей амплитуды [4]. Устройства, функционирующие по принципу модальной фильтрации, называются модальными фильтрами (МФ). При разработке МФ особое внимание уделяется улучшению их защитных характеристик за счет обеспечения высокого значения разностей задержек мод и выравнивания амплитуд импульсов разложения на выходе МФ. Первое требование необходимо для увеличения длительности воздействующего СКИ, который будет полностью раскладываться на последовательность импульсов, а второе – для уменьшения амплитуд импульсов разложения. Степень электромагнитной связи между проводниками МФ, регулируемая параметрами структуры, играет важную роль в решении данных задач.

Одним из важнейших этапов разработки МФ является оптимизация. Для этого применяются параметрическая (изменение значений параметров МФ) и/или структурная (внесение изменений в структуру МФ посредством изменения числа проводников, диэлектрических слоев, вырезов и др.) оптимизации. Зачастую структурная оптимизация выполняется эмпирическим путем (с использованием опыта практического моделирования и оптимизации), тогда как параметрическая оптимизация осуществима различными способами: от использования эвристического поиска (ручная оптимизация) до методов глобальной

оптимизации (эволюционные алгоритмы, детерминированные и стохастические методы и др.).

Общий вид задач оптимизации создает большое разнообразие их классов. От класса задачи зависит выбор способа оптимизации и как следствие эффективность её решения. Классификацию задач определяет целевая функция (ЦФ) и допустимая область (задаётся системой неравенств и равенств или более сложным алгоритмом) [5]. В соответствии с задачами методы оптимизации классифицируют на глобальные и локальные. Первые имеют дело с многоэкстремальными ЦФ. При глобальном поиске основной задачей является выявление тенденций глобального поведения ЦФ. Вторые сходятся к какому-либо локальному экстремуму целевой функции. В случае если экстремум единствен, он и будет глобальным максимумом / минимумом. Отдельным классом являются эволюционные алгоритмы, работающие по принципу естественного отбора из теории Дарвина. Зачастую необходимо оптимизировать целый ряд параметров структуры, от которых будет зависеть конечный результат. Эволюционные алгоритмы, в частности генетический алгоритм (ГА) и эволюционные стратегии (ЭС), хорошо себя показывают в задачах оптимизации по нескольким параметрам одновременно, однако при этом увеличивается и общее время вычисления.

В задачах оптимизации МФ чаще всего применяется именно ГА ввиду его универсальности, выраженной в возможности многокритериальной оптимизации, а также быстрой сходимости значений к глобальному экстремуму вне зависимости от конфигурации МФ. Однако его существенным недостатком является большое время расчетов. Между тем при оптимизации МФ с помощью ЭС также наблюдается сходимость результатов, но её результаты уступают результатам оптимизации с помощью ГА, что говорит о нахождении локального экстремума. Тем не менее, время, затраченное на оптимизацию МФ по ЭС, в разы меньше, по сравнению с использованием ГА [6]. Так, одной из причин расхождений в работе двух алгоритмов является отсутствие возможности задания необходимых ограничений (диапазонов значений изменения параметров МФ) при работе ЭС. Цель работы – восполнить этот пробел.

Эволюционные стратегии

В ЭС каждая особь характеризуется [7]: функцией пригодности, которая выбирается с учетом специфики конкретной задачи оптимизации; строкой-хромосомой, включающей в себя вектор некоторого решения оптимизационной задачи; среднеквадратическим отклонением (шаг мутации), от которого зависят величина мутации и угол ротации, который является необходимым параметром для реализации коррелируемой мутации, позволяющей учитывать ландшафт ЦФ. В процессе работы алгоритма ЭС происходит адаптация значений шага мутации и угла ротации [8]. Порядок работы алгоритма ЭС выглядит следующим образом: инициализация; скрещивание и мутация; расчет потомков с использованием функции пригодности; селекция; проверка условия останова ЭС [9]. В качестве критериев останова могут выступать: максимальное число итераций (расчетов ЦФ), которое определяется как $10^3 N^2$, где N – размер пространства поиска; число поколений без изменения лучшего значения ЦФ; малая разница между лучшим и средним значением ЦФ; малое изменение шага мутации и др.

Структура и схема исследуемого МФ

Для сравнительного анализа результатов работы ЭС без введения ограничений и с ними выбран МФ с лицевой связью [10] длиной $l = 60$ см. Поперечное сечение МФ представлено на рис. 1, где w – ширина проводников, s – расстояние между активным и опорным проводниками, t – толщина проводников, h – толщина подложки, d – расстояние от края МФ до активного (А) и пассивного (П) проводников с левой и до опорного (О) с правой стороны МФ, а ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость подложки.

Эквивалентная схема МФ представлена на рис. 2. Неизменными параметрами МФ приняты следующие: $w = 2000$ мкм, $d = w$. В качестве оптимизируемых параметров приняты h , t и s . Оптимизация выполнялась по критерию минимизации максимального значения выходного напряжения U_{\max} (которая возможна, как отмечалось ранее, при выравнивании амплитуд импульсов разложения).

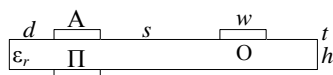


Рис. 1. Поперечное сечение МФ с лицевой связью

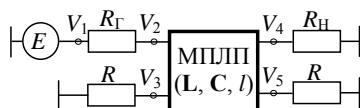


Рис. 2. Эквивалентная схема МФ с лицевой связью

Вычисление временных откликов МФ выполнялось в системе TALGAT [11]. Параметры воздействующего СКИ: ЭДС 1 В, длительность плоской вершины импульса $t_d = 50$ пс, время нарастания и спада сигнала $t_\phi = t_c = 50$ пс (так что общая длительность импульса $t_\Sigma = 150$ пс). Сопротивления на концах МФ R приняты равными 50 Ом.

Результаты моделирования

Как правило, при оптимизации структур с помощью ЭС применяется открытая библиотека `baresmaes2` с алгоритмом на языке Python [12]. В качестве входных параметров для алгоритма используются список, состоящий из начальных точек отсчета для каждого оптимизируемого параметра, и начальный размер шага, который адаптируется и изменяется в процессе оптимизации. Начальные точки отсчета выбраны $h = 300$ мкм, $t = 30$ мкм и $s = 300$ мкм. Как отмечалось ранее, к входным параметрам не относятся пределы для каждого параметра, что приводит в общем случае к физически нереализуемому результату. В данной работе рассматривается решение данной проблемы без вмешательства непосредственно в алгоритм.

Поскольку алгоритм генерирует список из искомым переменных, начиная с задаваемой пользователем начальной точки и с изменяемым в процессе оптимизации шагом, важно «отсеять» вышедшие за требуемый диапазон значения и «направить» их в пределы диапазона оптимизируемых параметров (например, если значение отрицательное, переместить точку поиска «выше»). Подобную задачу также можно решить путем исключения значений, вышедших за границы диапазона, однако это приведет к ошибкам в работе ЭС. Кроме этого, такой подход не решил бы задачу «возвращения» в диапазон значений, вышедших за него. Поэтому задача была решена путем замены вышедшего за границы диапазона значения на случайное в выбранном диапазоне. Стоит отметить, что вышедшее за границы диапазона значение можно было заменить и на начальные точки отсчета, приведенные выше, однако это влияет на весь прогресс, достигнутый в результате выполнения алгоритма, тогда как замена на случайное значение в выбранном диапазоне в общем случае не нарушает прогресс алгоритма. Блок-схема алгоритма оптимизации ЭС с ограничениями представлена на рис. 3.

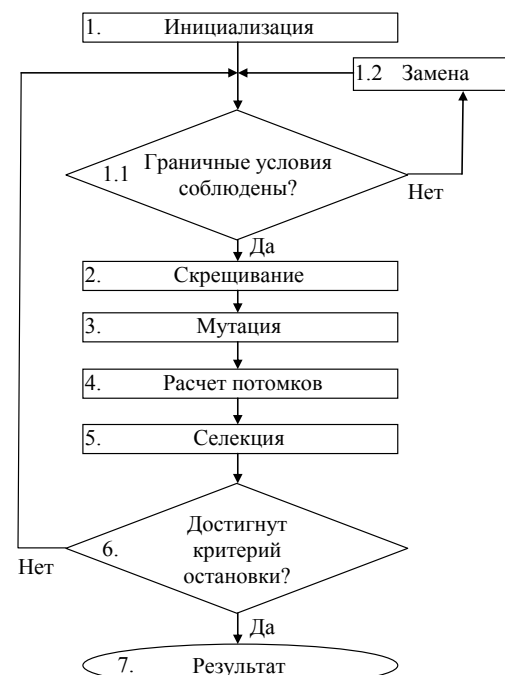


Рис. 3. Блок-схема работы ЭС с ограничениями

Она отличается от традиционной добавлением элементов 1.1 и 1.2, отвечающих за замену вышедшего за границы диапазона значения на случайное в выбранном диапазоне.

Таблица 1
Результаты оптимизации МФ с лицевой связью по алгоритму ЭС без ограничений

N	h , мкм	t , мкм	s , мкм	U_{\max} , мВ	Время, с	stop
$N_{it} = 500$						
1	295	123,6	319,5	57	564	Q
2	295,8	123,5	298,1	56,6	371	Q
3	303,3	123,6	315	58	249	Q
4	278,3	123,4	303,4	54,6	355	Q
5	280	123,3	294,7	54,6	481	Q
6	302,4	121,6	300,7	57,2	82	Q
7	297	123,5	300	56,9	209	Q
8	300,8	123,6	301,1	57,3	317	Q
9	292,2	123,7	288,9	55,8	102	Q
10	306	123,8	294,3	57,6	217	Q
$N_{it} = 1000$						
1	300,6	123,3	303,7	57,5	329	Q
2	191,5	120,8	359,5	42,3	1627	I
3	298,8	123,6	294,6	56,8	205	Q
4	304,5	123,7	300,3	57,7	258	Q
5	302,7	123,5	296,8	57,5	191,3	Q
6	299	123,3	302,2	57,3	168	Q
7	295	123,7	312	56,9	261	Q
8	301,3	123,4	302,7	57,6	366	Q
9	304,3	123,3	305	58,1	246	Q
10	236,4	122,8	162	43,1	1262	Q
$N_{it} = 2500$						
1	187,5	122,6	147,8	35,1	1726	Q
2	297	123,7	294	56,6	349	Q
3	297	123,6	299,5	56,8	356	Q
4	306,3	123,2	298,3	58,2	230	Q
5	284,5	123,2	307	55,8	395	Q
6	291	123,6	294,7	55,9	153	Q
7	296	123,7	288,9	56,3	314	Q
8	306,9	123,6	285,7	57,5	256	Q
9	303,5	123,6	291,5	57,4	416	Q
10	315,6	123,7	308,5	59,3	163	Q
$N_{it} = 5000$						
1	284,9	123	291	55,5	292	Q
2	297	123,3	297,1	57	223	Q
3	300	123,5	298,3	57,2	168	Q
4	298,3	123,5	285	56,6	386	Q
5	262,2	123,2	233,7	50,2	511	Q
6	301,4	123,6	301,9	57,4	328	Q
7	295,2	123,6	295,5	56,5	705	Q
8	282	123,6	312	55,3	396	Q
9	298	120,5	299	69,2	93	Q
10	279,5	123,5	299,5	54,7	620	Q
N_{it}^{\max}						
1	300,4	123,4	302,4	57,4	159	Q
2	293,1	123,2	310	56,9	118	Q
3	297,7	123	297,5	57,3	173	Q
4	304	123,5	276,2	56,9	450	Q
5	302,1	123,4	278	56,8	392	Q
6	299	123,4	297	57,1	254	Q
7	299	123,5	302,5	57,2	345	Q
8	294,7	121,2	297,7	55,8	81	Q
9	287	123,3	264,3	54,6	1307	Q
10	317,5	123,4	293,4	59,1	221	Q

В табл. 1 приведены результаты оптимизации МФ с лицевой связью посредством ЭС без указания ограничений. В таблицу сведены время расчета, значения максимальной амплитуды выходного сигнала, а также значения оптимизируемых параметров, при которых получены данные показатели. Используются критерии останова ЭС (stop): I – по достижении максимума вычислений, P – сходимость значений оптимизируемых параметров и Q – сходимость ЦФ. В табл. 2 приведены результаты оптимизации МФ с ограничениями (где N – число запусков, N_{it} – число вычислений при одном запуске, а N_{it}^{\max} – без указания числа вычислений), выполненными методом рандомизации вышедших за границу значений в указанном диапазоне с указанием времени вычисления (время).

При оптимизации без ограничений сходимость параметра t наблюдается при -2 мкм, что является нефизичным значением. Исходя из этого, начальная точка отсчета данного параметра изменена на 110 мкм.

Для проверки работоспособности алгоритма проверим его на более узком диапазоне значений. Прежние значения искомым параметров находились в пределах 100–2000 мкм для h и s и 18–200 мкм для t . Уменьшим данный диапазон значений до 250–350 мкм для h и s и 50–150 мкм для t .

В табл. 3 сведены результаты проверки работоспособности алгоритма с более узким диапазоном поиска значений.

Из табл. 3 видно, что, несмотря на уменьшенный диапазон оптимизируемых параметров, полученные значения не выходят из указанного диапазона. На рис. 4 показаны формы напряжений на выходе МФ с лицевой связью для наилучшего результата оптимизации по критерию минимизации максимального уровня выходного напряжения при разном числе итераций.

Из рис. 4 видно, что на моду 1 (распространяющуюся большей частью в воздухе) потери в диэлектрике действуют сильнее, чем на моду 2 (распространяющуюся большей частью в диэлектрике), что физически невозможно. Это выражается в увеличении времени фронта и спада импульсов разложения из-за влияния дисперсии. Причина кроется в погрешностях моделирования. Так, при моделировании число сегментов на диэлектрических границах (разделение сред воздух–диэлектрик) вдоль параметров d и s принималось равным 20, что является недостаточным для корректного моделирования. Увеличение данного значения до 100 позволит исправить данную проблему. Между тем в рамках данной работы оптимизация выполнялась при 20 сегментах на этих участках для всех случаев, что позволяет выполнить качественную оценку полученных результатов.

Из табл. 1 и рис. 4, а видно, что при оптимизации без ограничений наблюдается сходимость значений оптимизируемых параметров вне зависимости от числа вычислений. Несмотря на это, формы напряжения на выходе МФ представляются двумя импульсами разной амплитуды (0,026 и 0,035 В). Очевидно, что для достижения критерия минимизации максимальной амплитуды энергия воздействующего им-

пульса должна быть равномерно распределена между импульсами разложения, обеспечив равенство амплитуд импульсов, чего в данном случае не происходит.

Таблица 2
Результаты оптимизации МФ с лицевой связью по алгоритму ЭС с ограничениями

N	$N_{it} = 500$					
	h , мкМ	t , мкМ	s , мкМ	U_{max} , мВ	Время, с	stop
1	160,1	125,3	1695	41,2	822	I
2	231	120,3	283,5	46,8	826	I
3	270,3	123	241,5	51,8	819	I
4	354,1	121,6	302	62,2	847	I
5	111	120,2	1138	28,6	823	I
6	303,2	123,7	328	58,4	816	I
7	278,1	123,3	314,7	55	816	I
8	279,1	123,6	323,7	55,3	821	I
9	311,5	121,3	295,1	57,6	825	I
10	381,3	125	395	75,6	840	I
N	$N_{it} = 1\ 000$					
	h , мкМ	t , мкМ	s , мкМ	U_{max} , мВ	Время, с	stop
1	238,7	123,3	326,8	56,1	1566	Q
2	294,3	123,8	312,4	56,7	1617	I
3	116,7	123,3	1627	31,6	1648	I
4	132,3	123,7	1757	35,1	1452	Q
5	431,2	124,3	542,6	76	1098	Q
6	140	123	401,6	32,8	373	Q
7	450,7	124,9	416,8	74,7	1641	I
8	133,6	119	1136	50,9	1692	I
9	344,3	123,8	403,2	65	1485	Q
10	130	123,1	1898	35,5	1295	Q
N	$N_{it} = 2\ 500$					
	h , мкМ	t , мкМ	s , мкМ	U_{max} , мВ	Время, с	stop
1	288,4	123,6	371	57,6	1539	Q
2	323	21,8	292	119,5	1507	Q
3	494,6	143,8	547,6	130	928	Q
4	108,2	120	1208	27,9	3138	Q
5	317	123,9	429,5	62,3	2266	Q
6	256,5	125,2	1406	58,7	1392	Q
7	384,5	123,3	262,7	64,7	1006	Q
8	121,4	123,6	1871	32,8	2239	Q
9	117	124,3	1925	31,1	1147	Q
10	107,7	123,9	1270	28,2	2847	Q
N	$N_{it} = 5\ 000$					
	h , мкМ	t , мкМ	s , мкМ	U_{max} , мВ	Время, с	stop
1	132	123,4	850	33,4	4463	Q
2	284	123,6	288	54,7	2896	Q
3	161,8	119,8	140,9	105,5	2017	Q
4	114,2	124,6	104,2	115,8	1072	Q
5	397,5	124,2	356,2	68,8	2406	Q
6	135,3	120	640	40,1	772	Q
7	113	123,6	168	68	988	Q
8	108,5	124	188,2	78,7	1247	Q
9	276,8	124	305,1	55,6	2457	Q
10	104,7	123,6	180,2	66,2	1284	Q
N	N_{it}^{max}					
	h , мкМ	t , мкМ	s , мкМ	U_{max} , мВ	Время, с	stop
1	429,7	121	489,4	73,6	1345	Q
2	283,7	121,4	343,6	56,1	1148	Q
3	121,7	119,6	154,9	103,5	1330	Q
4	102,1	123,2	180,4	50,4	1742	Q
5	164,3	126,3	163,8	126,5	1575	Q
6	216,5	122,8	270	45	3404	Q
7	156,6	123,2	141,2	52,6	1531	Q
8	303,9	121,2	314,9	57,4	1408	Q
9	152,3	124	195,9	74,9	1458	Q
10	424,4	121,1	494,2	73,3	667	Q

Таблица 3

Результаты оптимизации МФ с лицевой связью по алгоритму ЭС в уменьшенных диапазонах изменения оптимизируемых параметров при N_{it}^{max}

N	h , мкМ	t , мкМ	s , мкМ	U_{max} , мВ	Время, с
1	285	120,7	320,3	54,2	368
2	257,6	121,5	272	49,2	722
3	281,4	123,3	301	52,2	1336
4	307,7	123,4	319,3	55,7	206
5	256,5	123,3	297,4	49	627
6	325,5	123,8	275,2	55,6	609
7	300	123,7	304	54,1	705
8	253,3	120,9	328,3	50,3	1448
9	259,3	123	294,4	49,4	1436
10	262,7	123,4	337,6	50,8	2073

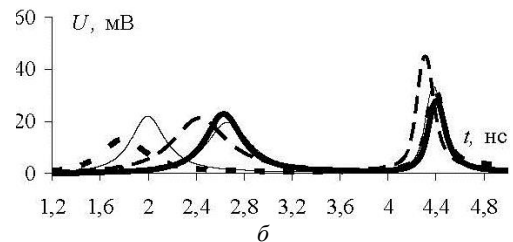
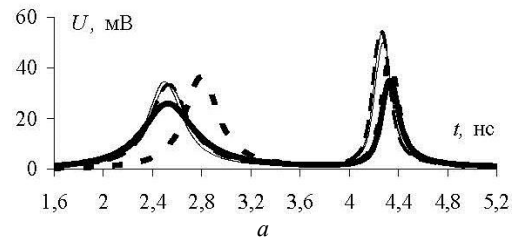


Рис. 4. Формы выходных напряжений при числе итераций: 500 (—), 1000 (· · ·), 2500 (— · —), 5000 (· · · · ·), без итераций (- -) для оптимизации без ограничений – а; с ограничениями – б

Между тем из табл. 2 и рис. 4, б не наблюдается сходимости значений параметров как таковой. Однако формы напряжения на выходе МФ (при 500 и 2 500 вычислениях) показывают максимальное значение выходного напряжения около 0,028 В при относительно равных амплитудах импульсов разложения (импульс $I = 0,02$ В). Кроме этого, значения, полученные при оптимизации с ограничениями, лежат в требуемом диапазоне.

Обсуждение результатов

Время расчетов после введения ограничений увеличивается. Это можно объяснить тем, что приравнивание оптимизируемого значения случайному числу в указанном диапазоне замедляет процесс работы алгоритма, приводя дополнительные случайные переменные, относительно которых возобновляется работа алгоритма всякий раз после выхода за границы. Отметим, что для нахождения решения, алгоритму с ограничениями требуется около 1 500 итераций и, в среднем, 1 600 с (в алгоритме без ограничений – в среднем 600 с). Между тем при оптимизации без ограничений наблюдалась сходимость к определенному диапазону значений, однако с введением ограничений данный диапазон стал более «размытым». Это происходит по причине замены числа, вышед-

шего за границы, на случайное, особенно ввиду того, что диапазон значений брался довольно широкий.

Несмотря на ухудшение сходимости результатов, а также увеличение времени расчетов, в результате такого подхода удалось получить максимальное значение выходного напряжения около 0,028 В (что в 1,25 раза меньше значения 0,035 В, полученного при оптимизации без указания ограничений) при близких амплитудах импульсов разложения. К достоинствам ЭС с ограничениями можно отнести возможность оптимизации защитных устройств в требуемом диапазоне параметров и итоговые результаты, полученные в том числе благодаря внесению элемента случайности, реализованному в ЭС с ограничениями. К недостаткам можно отнести увеличенное время вычисления и отсутствие сходимости результатов оптимизации.

Заключение

Реализована возможность реализации алгоритма оптимизации ЭС с установлением ограничений, под которыми понимается задание диапазонов изменения оптимизируемых параметров. Это выполнено без вмешательства в исходную библиотеку. Удалось достичь поставленной задачи посредством введения ограничений в расчеты. Дальнейшим шагом в данном направлении будет поиск возможностей по улучшению результата оптимизации с помощью ЭС с указанием ограничений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2020-0041.

Литература

1. Фоминич Э.Н. Электромагнитный терроризм. Новая угроза для информационно-управляющих систем / Э.Н. Фоминич, Д.Р. Владимиров // Военный инженер. – 2016. – № 2 (2). – С. 10–17.
2. Электромагнитный терроризм на рубеже тысячелетий / под ред. Т.Р. Газизова. – Томск: Том. гос. ун-т, 2002. – 206 с.
3. Gizatullin Z.M. Investigation of the immunity of computer equipment to the power-line electromagnetic interference / Z.M. Gizatullin R.M. Gizatullin // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2016. – Vol. 61, No. 5. – P. 546–550.
4. Заболоцкий А.М. Модальные фильтры для защиты бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов. – Томск: Изд-во

Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2003. – 151 с.

5. Аоки М. Введение в методы оптимизации. – М.: Наука, 1977. – 356 с.

6. Белоусов А.О. Анализ и оптимизация многопроводных структур с модальным разложением для обработки импульсных сигналов: дис. ... канд. техн. наук. – Томск. – 2020. – 247 с.

7. Evolutionary Modeling of Larval Dispersal in Blowflies Using Non-Uniform Cellular Automata / Ana L.T. Romano, L. Gomes, G. Gomes, W. Puma-Villanueva, M. Zanetti, C.J. Von Zuben, F.J. Von Zuben // IEEE Congress on Evolutionary Computation Sheraton. – Canada, Vancouver, 2006. – P. 1127–1134.

8. Эволюционные методы моделирования и оптимизации сложных систем / Е.С. Семеникин, М.Н. Жукова, В.Г. Жуков, И.А. Панфилов, В.В. Тынченко // Конспект лекций. – Красноярск: Изд-во ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 2007. – 310 с.

9. Hansen N. Completely Derandomized Self-Adaptation in Evolution Strategies / N. Hansen, A. Ostermeier // Evolutionary Computation. – 2001. – Vol. 9, № 2. – P. 159–96.

10. Gazizov A.T. UWB pulse decomposition in simple printed structures / A.T. Gazizov, A.M. Zabolotsky, T.R. Gazizov // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2016. – Vol. 58, No. 4. – P. 1136–1142. doi: 10.1109/TEMC.2016.2548783

11. Kuksenko S.P. Preliminary results of TUSUR University project for design of spacecraft power distribution network: EMC simulation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – P. 1–7. doi: 10.1088/1757-899X/560/1/012110

12. Hansen N. Python: module barecmaes2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cmap.polytechnique.fr/~nikolaus.hansen/barecmaes2.html>, свободный (дата обращения: 22.09.2021).

Белоусов Антон Олегович

Канд. техн. наук, м.н.с. НИЛ «ФИЭМС»,
доцент каф. телевидения и управления (ТУ) ТУСУРа
ORCID 0000-0002-0154-8014
Эл. почта: ant1lafleur@gmail.com

Гордеева Виктория Олеговна

Техник НИЛ «ФИЭМС», магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: vikki.gern@gmail.com