

В. И. Авдзейко, Е. С. Паскаль, В. И. Карнышев

ПАТЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

V. I. Avdzeyko, E. S. Paskal,
V. I. Karnyshev

Patent Analysis of Static Converters
Development Trends

Проведен анализ преобразователей постоянного тока в постоянный, переменного тока в переменный, переменного тока в постоянный, постоянного тока в переменный, и обратимых преобразователей переменного тока в постоянный и постоянного тока в переменный. Анализ выполнен на основе временных рядов патентов США, зарегистрированных с 1976 по 2018 гг. в соответствующих подгруппах Международной патентной классификации. Исходя из количества и динамики выдачи патентов, проведено сравнение способов построения преобразователей параметров электрической энергии, а также их разновидностей по принципу действия, по назначению, областям применения, по схемным решениям и элементной базе. Основные выводы проведенного анализа: транзисторы, в качестве силовых элементов преобразователей, используются чаще, чем тиристоры; преобразователи, выполненные по мостовой схеме, получили наибольшее распространение; значительное замедление роста числа патентов в последние годы, или их снижение, характерно для всех типов преобразователей, кроме преобразователей переменного тока в постоянный.

Ключевые слова: конвертеры (преобразователи) энергии, патентный анализ, МПК, патентное ведомство США, временные ряды, переменный ток, постоянный ток, тиристоры, транзисторы.

The article presents patent analysis of DC-DC, AC-AC, AC-DC, DC-AC converters, as well as reversible AC-DC and DC-AC converters. The analysis was performed based on modern time series of the US patents, registered in the 1976 - 2018 period in relevant subgroups of the International Patent Classification. Based on quantity and dynamics of patents issuing comparison of design methods of electric energy parameters converters, as well as variety of operation principles, purpose, application areas, schematic solutions and element base, was made. The main inferences drawn while the performed analysis consist in the following: transistors as converters' power elements are applied more frequently than thyristors. Full-bridge converters structures are most widely used. In recent years, significant slow-down in patents number growth, or their reduction is characteristic for all types of converters, except AC-DC converters.

Key words: energy converters, thyristors, transistors, patent analysis, International Patent Classification, USPTO, time series, alternating current, direct current.

Обоснованный выбор перспективного типа преобразователя и его элементной базы является залогом успешного построения систем электропитания постоянного и переменного тока. Правильный выбор базируется, в том числе, на прогнозировании развития технических направлений. Одним из таких методов является патентный анализ, основанный на свойстве научно-технической информации отражать и опережать по времени практическую реализацию технических решений. Патентный метод прогнозирования заключается в построении временных рядов патентов, выданных в конкретных подклассах, группах, подгруппах Международной патентной классификации (МПК) и анализе больших объемов информации. Достоинством такого подхода является то, что в основном патентуются технические решения, обладающие очевидной новизной и имеющие практическую направленность, и перспективы дальнейшего развития [1]. Выявление направлений, в которых наблюдается устойчивая тенденция роста числа зарегистрированных патентов или происходит быстрое (резкое) положительное изменение динамики их выдачи, позволяет определить основные тренды в развитии технического (технологического) потенциала и направленность инновационной деятельности ведущих мировых производителей.

Установлено [2], что патентный анализ позволяет предсказать новые разработки на рынке за 6-18 месяцев до их появления и является в настоящее время одним из эффективных способов отслеживания технологических изменений в мире, а также позволяет установить потенциальных кандидатов для лицензирования (покупки) разрабатываемой технологии. При этом поиск патентной информации ведется в открытых базах данных патентных организаций, например, Всемирной организации интеллектуальной собственности (WIPO), Европейской патентной организации (EPO), Патентного ведомства США (USPTO), Роспатента и других.

Одним из требований при проведении патентного анализа является формирование локальных баз данных патентов на изобретения на основе общепринятой в всем мире Международной патентной классификации [3], классифицирующей технические решения в разделах, классах, подклассах, группах и подгруппах.

Крупнейшим патентным ресурсом является открытая база данных Патентного ведомства США, которая позволяет осуществлять поиск и анализ полнотекстовых описаний патентов, начиная с 1976 года, что является достаточным с точки зрения ретроспективного анализа [4]. Заявки на получение патентов подаются в USPTO из наиболее развитых стран мира крупней-

шими производственными и исследовательскими структурами, что повышает вероятность формирования репрезентативных технологических прогнозов [5].

С целью выявления перспективных технических направлений в рамках патентного поиска авторами было разработано программное обеспечение [6], позволившее в автоматическом режиме сформировать локальную базу данных патентов США на изобретения за 1976–2018 гг. Это позволяет формировать временные ряды, производить выборку патентов в заданных группах и подгруппах МПК, по номерам патентов, одному или нескольким ключевым словам в названиях (рефератах) патентов, авторам, наименования заявителя и правообладателя и т. п. для заданной глубины патентного поиска.

На основе сформированной локальной базы данных за период с 1976 по 2018 годы авторами проведено исследование тенденций развития способов построения преобразователей электрической энергии (основные группы МПК H02M3/00, H02M5/00 и H02M7/00). Методика проведения исследования основана на поэтапном выборе перспективных направлений преобразователей и их разновидностей по принципу действия, по назначению, областям применения, по схемным решениям и элементной базе [7, 8].

Сравнительный анализ типов преобразователей

В соответствии с МПК преобразователи параметров электрической энергии подразделяются на следующие виды:

- преобразователи постоянного тока в постоянный (*DC/AD*) – основная группа МПК H02M3/00;
- преобразователи переменного тока в переменный (*AC/AC*) – H02M5/00;
- преобразователи переменного тока в постоянный (*AC/DC*) – подгруппы МПК H02M7/02 H02M7/40;
- преобразователи постоянного тока в переменный (*DC/AC*) – H02M7/42 H02M7/64;
- обратимые преобразователи переменного тока в постоянный (обратимые *AC/DC*) и постоянного тока в переменный (обратимые *DC/AC*) – H02M7/66 H02M7/98.

В табл. 1 отражена динамика выдачи патентов США в этих подгруппах с 2009 по 2018 гг. Следует отметить значительное увеличение количества патентов, зарегистрированных в интервале 2014–2018 гг.

Очевидно, что наибольшее количество патентов было выдано на преобразователи постоянного тока

в постоянный. Например, в 2018 году на эти преобразователи выдано 2708 патентов, что в 3,34 раза больше, чем на преобразователи DC/AC и значительно больше, чем у всех остальных. В соответствии с полученными данными в последние годы наблюдается снижение или значительное замедление роста количества патентов на все типы преобразователей кроме преобразователей переменного тока в постоянный. Преобразователи с постоянным током на входе преобразователя предназначены для использования в системах электропитания (H02M3/00 – H02M3/42 и H02M7/02 – H02M7/40), а с переменным током в сетях переменного тока (H02M5/00 – H02M5/48 и H02M7/42 – H02M7/64), поэтому можно сделать вывод о предпочтительном использовании преобразователей в системах электропитания.

Рассмотрим далее способы построения известных типов преобразователей, принимая следующие допущения:

– все выводы относятся к статическим преобразователям; динамические преобразователи, а также преобразователи, созданные путем сочетания статических и динамических преобразователей, или электромашинных с динамическими и статическими преобразователями, не учитываются;

– статические преобразователи на газоразрядных, электронных приборах, тиратронах и триодах не рассматриваются, как устаревшие.

Анализ преобразователей постоянного тока в постоянный

Данные преобразователи, в соответствии с классификацией МПК выполняются без промежуточного преобразования (БПП) в переменный ток с помощью статических преобразователей, выполненных на полупроводниковых приборах (H02M3/10 – H02M3/158) и с промежуточным преобразованием (СПП) в переменный ток с помощью статических преобразователей, выполненных на полупроводниковых приборах (H02M3/28 – H02M3/338). Динамика выдачи патентов США на эти типы преобразователей показана на рис. 1.

Начиная с 2015 года, при патентовании технических решений предпочтение отдают преобразователям без промежуточного преобразования в переменный ток, которые позволяют обеспечить минимальные массогабаритные показатели при отсутствии требований обеспечения гальванической развязки их входных и выходных цепей. Промежуточное преобразование обычно достигается путем использования инвертор-

Таблица 1

Подгруппа МПК	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Всего
H02M3/00 – H02M3/42	248	35	331	337	421	545	1115	1847	2129	2025	9303
H02M5/00 – H02M5/48	56	67	46	71	90	78	163	258	296	274	1408
H02M7/02 – H02M7/40	35	59	55	81	92	104	236	389	466	525	2042
H02M7/42 – H02M7/64	76	86	71	104	140	156	336	601	760	809	3139
H02M7/66 – H02M7/98	10	11	5	14	28	20	47	73	86	74	368

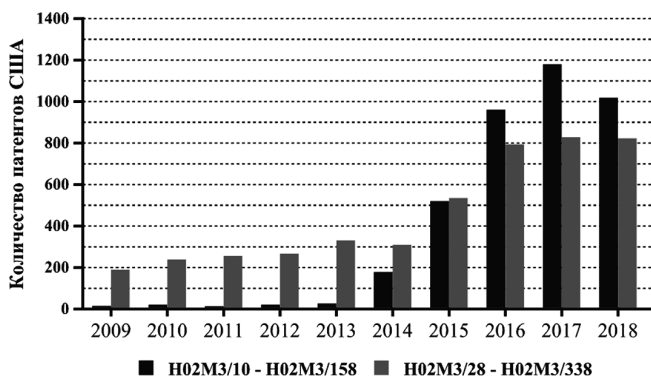


Рис. 1. Преобразователи DC/DC СПП (H02M3/28 – H02M3/338) и БПП (H02M3/10 – H02M3/158)

ных схем с трансформаторным выходом, которые применяются при построении преобразователей с повышенной выходной мощностью и обеспечивают гальваническую развязку входных и выходных цепей преобразователей. Снижение темпа роста количества патентов с 2016 года происходит, по мнению авторов, за счет появления на рынке большого количества серийных преобразователей, поэтому генерирование новых идей при проектировании возможно только при появлении новой элементной базы.

Преобразователи без промежуточного преобразования выполняются на тиристорах (H02M3/125 – H02M3/142) или на транзисторах (H02M3/145 – H02M3/158). Преобразователи с промежуточным преобразованием также выполняются на тиристорах (H02M3/305 – H02M3/315) и транзисторах (H02M3/325 – H02M3/338).

В табл. 2 приведены количественные значения этих видов преобразователей и типы используемых полупроводниковых приборов.

При патентовании DC/DC преобразователей явное предпочтение отдается транзисторам. Это объясняется стремлением к миниатюризации и отказу от использования контуров принудительной коммутации, препятствующих снижению массогабаритных показателей устройств. Приведенные в таблице данные показывают, что транзисторные преобразователи БПП выполняются с цифровым управлением (H02M3/157) и несколькими транзисторами в качестве оконечного устройства, включенными последовательно и/или параллельно с нагрузкой. Преобразователи СПП проектируются на базе двухтактных схем (H02M3/337) и схем с автоколебаниями. В 2018 году схемы БПП, выполненные на базе нескольких транзисторов, по количеству выданных патентов почти в семь раз опережали схемы с цифровым управлением с использованием одного ключа, а схемы на основе двухтактных схем у преобразователей СПП в четыре раза опережали по количеству патентов схемы с автоколебаниями.

Анализ преобразователей переменного тока в переменный

В соответствии с МПК преобразователи типа AC/AC также создаются без промежуточного преобразования (H02M5/22 – H02M5/297) и с промежуточным преобразованием в переменный ток (H02M5/44 – H02M5/458).

В табл. 3 приведено количество патентов для схем без промежуточного преобразования, выполненных на тиристорах (H02M5/25 – H02M5/27) и транзисторах (H02M5/275 – H02M5/297), для схем с промежуточным преобразованием на тиристорах (H02M5/443 – H02M5/452) и транзисторах (H02M5/453 – H02M5/458).

Таблица 2

Подгруппа МПК	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Всего
H02M3/125 – H02M3/142	0	1	0	1	0	2	3	2	2	6	17
H02M3/145 – H02M3/158	8	13	6	13	18	169	509	952	1172	1008	3868
H02M3/305 – H02M3/315	1	3	2	3	4	1	3	4	4	4	29
H02M3/325 – H02M3/338	183	230	246	257	323	300	515	769	795	794	4412
H02M3/157	1	0	1	2	2	29	69	109	126	111	450
H02M3/158	3	3	0	2	2	41	274	620	802	707	2454
H02M3/337	2	1	0	2	4	4	60	101	102	104	380
H02M3/338	1	3	4	4	4	10	13	21	13	27	100

Таблица 3

Подгруппа МПК	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Всего
H02M5/22 – H02M5/297	7	7	6	4	13	7	41	73	64	69	291
H02M5/44 – H02M5/458	28	19	13	26	34	38	84	141	186	150	719
H02M5/25 – H02M5/27	3	3	4	3	10	2	17	21	19	20	102
H02M5/275 – H02M5/297	4	3	2	1	3	5	21	53	45	48	185
H02M5/443 – H02M5/452	19	14	11	19	29	29	24	42	45	20	252
H02M5/453 – H02M5/458	9	11	5	9	8	10	64	120	153	130	519

В 2018 году преобразователи с промежуточным преобразованием практически в 2,5 раза опережают по количеству патентов преобразователи без промежуточного преобразования. При этом схемы БПП, выполненные на тиристорах по числу патентов почти в 1,8 раза уступают схемам, выполненным на транзисторах, а преобразователи СПП на тиристорах в 2 раз уступают схемам, выполненным на транзисторах.

Следует отметить, что в последние годы количество патентов снижается, либо практически не изменяется. Это позволяет сделать вывод о прекращении разработки или замедлении развития преобразователей переменного тока в переменный как без ПП, так и с ПП, выполненных на тиристорах и на транзисторах.

Анализ преобразователей переменного тока в постоянный

В соответствии с МПК статические преобразователи AC/DC выполняются без управляющего электрода (H02M7/06 – H02M7/10), как неуправляемые выпрямители, и с управляющим электродом (H02M7/12 – H02M7/25) – как управляемые выпрямители. Количество патентов на эти устройства приведено в табл. 4. У неуправляемых выпрямителей полупроводниковые приборы могут включаться параллельно (H02M7/08) для увеличения выходной мощности, либо последовательно (H02M7/10) при наличии высокого входного или выходного напряжения.

При разработке управляемых выпрямителей разработки наибольшее внимание отдают транзисторным преобразователям. Количество патентов, выданных на эти преобразователи (H02M7/21 – H02M7/25) за последние 10 лет, в 5,9 раза превышает количество патентов на тиристорные преобразователи (H02M7/145 – H02M7/19).

Схемы управляемых выпрямителей на тиристорах (H02M/145 – H02M7/19) в соответствии с МПК выполняются по мостовой схеме (H02M7/162), а также при включении тиристоров параллельно (H02M7/17) либо последовательно (H02M7/19) с нагрузкой.

Схемы управляемых выпрямителей на транзисторах (H02M7/21 – H02M7/25) также могут выполняться по мостовой схеме (H02M7/219), при включении транзи-

сторов параллельно (H02M7/23) либо последовательно (H02M7/25). Количество патентов на указанные преобразователи приведены в табл. 4.

Количество патентов, выданных на управляемые выпрямители за последние 10 лет, практически в 2 раза превышает количество патентов, выданных на неуправляемые выпрямители. Основными целями патентов на неуправляемые выпрямители являются модернизация сервисных функций и повышение надежности преобразователей, а управляемых – повышение технических характеристик и расширение диапазона регулирования выходных параметров. При этом основное внимание уделяется схемам, у которых силовая часть строится по мостовой схеме с использованием транзисторов в качестве силовых элементов.

Анализ преобразователей постоянного напряжения в переменное

Данный тип преобразователей (H02M7/42 – H02M7/64) применяется при создании систем электропривода, а также при подключении потребителей переменного тока к сетям постоянного тока. За последние 40 лет на преобразователи DC/AC с неуправляемой силовой частью (H02M7/46) выдано только 23 патента, поэтому анализ проведен только для управляемых преобразователей (H02M7/48 – H02M7/5395).

В соответствии с классификацией, принятой МПК, преобразователи DC/AC подразделяются на следующие разновидности (формулировки по МПК):

- преобразователи с выходами, каждый из которых может иметь более двух уровней напряжения (H02M7/483 – H02M7/49);

- схемы соединений статических преобразователей для параллельной работы (H02M7/493);

- синусоидальные выходные напряжения, получаемые путем комбинирования множества напряжений, несовпадающих по фазе (H02M7/497);

- синусоидальные выходные напряжения, получаемые путем комбинирования множества импульсов напряжений, имеющих разные амплитуды и длительность (H02M7/501);

- с использованием приборов типа тиратрона или тиристора, для которых требуются средства для гашения разряда (H02M7/505 – 7/529);

Таблица 4

Подгруппа МПК	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Всего
H02M7/06 – H02M7/10	8	19	15	29	28	17	80	135	149	171	651
H02M7/12 – H02M7/25	16	30	31	43	48	65	144	244	273	259	1153
H02M7/145 – H02M7/19	2	6	3	13	6	14	17	31	34	38	164
H02M7/21 – H02M7/25	13	23	28	29	43	50	117	209	232	221	965
H02M7/162	0	3	0	5	1	4	9	11	10	17	60
H02M7/17	0	0	0	3	1	4	2	1	1	1	13
H02M7/19	0	0	0	1	0	0	1	6	4	3	15
H02M7/219	1	2	2	4	3	6	28	45	83	79	253
H02M7/23	0	1	3	2	1	1	1	10	14	14	47
H02M7/25	0	0	1	1	3	1	0	6	7	10	29

Таблица 5

Подгруппа МПК	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Всего
H02M7/483 – H02M7/49	1	3	0	3	1	6	74	158	201	151	598
H02M7/487	0	0	0	2	0	3	33	71	85	69	263
H02M7/493	3	1	2	0	0	2	21	45	51	36	161
H02M7/497	0	1	0	0	0	1	1	2	2	6	13
H02M7/501	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	5
H02M7/505 – H02M7/529	7	3	3	7	9	9	13	19	17	16	103
H02M7/53 – H02M7/5395	48	60	48	57	103	97	199	352	440	448	1852

– с использованием приборов типа триода или транзистора, для которых требуется непрерывный управляющий сигнал (H02M7/53 – 7/5395).

Количество патентов на эти типы преобразователей приведены в табл. 5.

Преобразователи с несколькими выходными напряжениями (H02M7/483 – H02M7/49) в свою очередь выполняются на базе инверторов с нулевым выводом (H02M7/487) – за 10 лет 263 патента, или как комбинация форм выходного напряжения множества преобразователей (H02M7/493) – за 10 лет 161 патент.

Преобразователи с синусоидальным выходным напряжением, получаемым путем комбинирования множества напряжений, несовпадающих по фазе (H02M7/497) – 13 патентов, и с синусоидальным выходным напряжением, получаемым путем комбинирования множества импульсов напряжений, имеющих разные амплитуды и длительность (H02M7/501) – 5 патентов, не нашли широкого применения.

Число патентов для преобразователей DC/AC на транзисторах (H02M7/483 – H02M7/49) за 10 лет оказалось почти в 6 раз больше, чем на тиристорах (H02M7/505 – H02M7/529), что позволяет судить о перспективности развития транзисторных преобразователей.

По классификации, принятой МПК, тиристорные преобразователи DC/AC выполняются в следующих конфигурациях:

– по схемам с автоколебаниями (H02M7/516);

– со специальным устройством запуска (H02M7/517);

– по двухтактной схеме (H02M7/519);

– по мостовой схеме (H02M7/521);

– с LC-резонансным контуром в основной схеме (H02M7/523);

– с автоматическим управлением формой или частотой выходного сигнала (H02M7/25 – H02M7/529).

Количество патентов, выданных за последние десять лет на эти устройства, приведены в табл. 6.

Среди тиристорных преобразователей наибольшее распространение получили преобразователи, собранные по мостовой схеме и с управлением формой или частотой выходного сигнала.

Преобразователи на транзисторах выполняются по следующим схемам:

– со специальным устройством запуска (H02M7/5375);

– по двухтактной схеме (H02M7/538);

– с устройствами с автоколебаниями (H02M7/5383 – H02M7/53862)

– по мостовой схеме (H02M7/5387 – H02M7/5388);

– с автоматическим управлением формой или частотой выходного сигнала (H02M7/539 – H02M7/5395).

Количество патентов, выданных на эти преобразователи, приведено в табл. 7.

Как видно из приведенной таблицы, транзисторные преобразователи, в подавляющем большинстве, выполняются по мостовой схеме. По сравнению с ними за 10 лет в 4 раза меньше выдано патентов на схемы

Таблица 6

Подгруппа МПК	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Всего
H02M7/516	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	5
H02M7/517	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	4
H02M7/519	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2
H02M7/521	1	0	1	3	3	3	3	6	5	7	32
H02M7/523	1	1	0	1	3	1	1	3	1	3	15

Таблица 7

Подгруппа МПК	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Всего
H02M7/5375	1	1	0	0	1	0	0	3	3	0	9
H02M7/538 - H02M7/5381	5	7	1	4	9	5	27	24	53	20	155
H02M7/5383 - H02M7/53862	3	1	5	8	4	8	11	6	7	17	70
H02M7/5387	29	40	27	32	52	44	100	220	240	216	1000
H02M7/539 - H02M7/5395	4	3	8	2	3	7	24	50	68	69	238

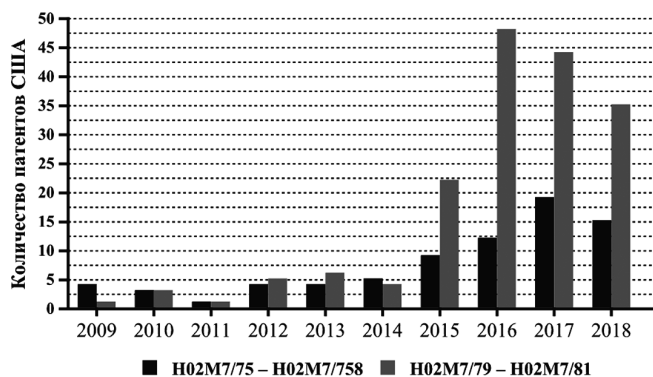


Рис. 2. Количество обратимых преобразователей, выполненных на тиристорах (H02M7/75 – H02M7/758) и на транзисторах (H02M7/79 – H02M7/81)

с автоматическим управлением формой и частотой выходного сигнала, и почти в 6,5 раз больше, чем на устройства, выполненные по двухтактной схеме. Схемы с запуском и с автоколебаниями уступают мостовым еще больше.

Анализ обратимых преобразователей

Обратимые преобразователи, в соответствии с МПК выполняются на тиристорах (H02M7/7/75 – 7/758) или на транзисторах (H02M7/79 – H02M7/81). Динамика выдачи этих преобразователей проиллюстрирована на рис. 2.

Если до 2014 года тиристоры и транзисторы в обратимых преобразователях использовались одинаково, то с 2014 г. – с появлением новых транзисторов, отмечается резкое увеличение транзисторных преобразователей. Снижение выдачи патентов на обратимые преобразователи в последние годы объясняется относительной их сложностью и специфической областью их применения.

Выводы

По результатам проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Разработчики статических преобразователей в качестве силовых полупроводниковых элементов используют транзисторы чаще чем тиристоры.
2. Наибольшее количество патентов выдано на преобразователи постоянного тока в постоянный без промежуточного преобразования в переменный ток.
3. Снижение количества патентов, выданных на все типы преобразователей в последние 2–3 года, объясняется “насыщением” идей у разработчиков и выпуском широкой номенклатуры серийных устройств.
4. В качестве силовой часть наибольшее распространение получили преобразователи, выполненные по мостовой схеме.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РРФИ в рамках научного проекта № 18-07-01270.

Литература

1. Joutz F. L. Forecasting USPTO patent application filings // Proceedings of the WIPO–OECD Workshop on Statistics in the Patent Field, Geneva, Switzerland, 2003.
2. Adams K., Kim D., Joutz F. L., Trost R. P., Mastrogianis G. Modeling and forecasting U.S. patent application filings. Journal of Policy Modeling, 1997, Vol. 19, pp. 491–535.
3. Jun S. IPC code Analysis of Patent Documents Using Association Rules and Maps-Patent Analysis of Database Technology. Communications in Computer and Information Science, 2011, Vol. 258, pp. 21–30.
4. Schmoch Ulrich. Patent analyses in the changed legal regime of the US Patent Law since 2001. Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Breslauer Strasse 48, 76139 Karlsruhe, Germany World Patent Information 31 (2009) 299–303.
5. Авдзейко В. И., Карнышев В. И., Мещеряков Р. В., Шелупанов А. А., Парнюк Л. В. Анализ динамики выдачи патентов для выявления перспективных направлений развития в области силовой электроники. – Вестник Томского государственного университета. май 2015, № 394, , раздел “Экономика”, С. 159–169.
6. Herr, D., Han, Q., Lohmann, S., Brugmann, S., Ertl, T. Visual exploration of patent collections with IPC clouds (2014) CEUR Workshop Proceedings, 1292. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84914703011&partnerID=40&md5=cca93346510de9e20bf0c9f135ec7a1c>.
7. Авдзейко В. И., Карнышев В. И., Мещеряков Р. В. Прогнозирование направлений развития силовой электроники на основе временных рядов по данным Международной патентной классификации. – Электротехнические и информационные комплексы и системы, 2016, Т. 12, № 2, С. 23–28.
8. Авдзейко В. И., Рулевский В. М., Паскаль Е. С., Карнышев В. И. Анализ способов построения преобразователей энергии переменного тока на входе в энергию переменного тока на выходе. – Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2019, Том 62, № 1, С. 52–58.

Авдзейко Владимир Игоревич, к. т. н., с. н. с., доцент кафедры БИС Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, тел.: +7 (909) 546-48-86, e-mail: avi@main.tusur.ru;

Паскаль Евгения Сергеевна, аспирант, ассистент кафедры РТС Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, тел.: +7 (913) 887-64-62, e-mail: evgeniapascal@gmail.com.

Карнышев Владимир Иванович, к. т. н., заведующий патентно-информационным отделом Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, тел.: +7 (961) 095-92-21, e-mail: pio@main.tusur.ru;