УДК 621.3.011.72

В.І.Будько, канд.техн.наук (Національний технічний університет України "КПІ"),
С.О.Кудря, докт.техн.наук (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ),
В.Б.Павлов, докт.техн.наук (Інститут електродинаміки НАН України, Київ)

Концепція заряджання акумуляторної батареї електромобіля від фотоелектричної станції

В роботі проведено оцінку впливу технологічних простоїв електромобіля на збільшення його пробігу при використанні в якості додаткового джерела енергії фотоелектричної станції на базі екіпажної частини транспортного засобу. Запропоновано новий метод заряджання акумуляторних батарей від стаціонарних фотоелектричних станцій, який дозволяє реалізувати класичний заряд тягових акумуляторів навіть у період року з найменшими показниками інтенсивності сонячної радіації.
Ключові слова: *акумуляторна батарея, фотоелектрична станція, електромобіль, інтенсивність сонячної радіації, міжзарядний пробіг, стаціонарний заряд.*

В работе проведена оценка влияния технологических простоев электромобиля на увеличение его пробега при использовании в качестве дополнительного источника энергии фотоэлектрической станции на базе экипажной части транспортного средства. Предложен новый метод зарядки аккумуляторных батарей от стационарных фотоэлектрических станций, позволяющий реализовать классический заряд тяговых аккумуляторов даже в период года с наименьшими показателями интенсивности солнечной радиации.
Ключевые слова: *аккумуляторная батарея, фотоэлектрическая станция, электромобиль, интенсивность солнечной радиации, межзарядный пробег, стационарный заряд.*

Як відомо, проблема збільшення міжзарядного пробігу електромобілів є досить актуальною. В роботі [1] розглядаються питання співвідношення міжзарядного і експлуатаційного пробігів та способи збільшення останнього. Якщо міжзарядний пробіг залежить в основному лише від ємності електрохімічного джерела живлення, то експлуатаційний пробіг електротранспортного засобу може бути збільшений декількома способами.

Одним із досить ефективних способів подовження міжзарядного пробігу електромобіля є застосування гібридного джерела живлення [2]. У даний час найбільш розповсюдженим є спосіб, який суміщає роботу акумуляторних батарей та двигуна внутрішнього згоряння з генератором. Однак і в цьому випадку не вдається повністю уникнути шкідливих викидів від двигуна внутрішнього згоряння в порівнянні з джерелом живлення, що складається з електрохімічного акумулятора та фотобатареї, встановленої на транспортному засобі. Така комбінація практично вважається екологічно чистою та найбільш прийнятною.

В роботі [1] розглянуто питання збільшення міжзарядного пробігу електромобіля при живленні його електродвигуна від комбінованого джерела, яке складається з акумуляторної батареї та фотоелектричного джерела (АБ-ФБ). Енергія фотобатареї у даній роботі визначається за формулою:

$$W_{\Phi} = P \cdot t \,, \qquad (1)$$

де P – потужність фотобатареї, Вт; t – час роботи фотобатареї протягом експлуатаційного пробігу, год.

Відомо, що в умовах внутрішньоміських перевезень транспортний засіб, як правило, експлуатується в перервному режимі переміщення, тобто в залежності від призначення автомобіль може мати декілька простоїв різної тривалості протягом усього робочого дня. Такий характер руху аналогічно відноситься і до електротранспортних засобів з автономними джерелами енергії.

Розглянемо питання збільшення пробігу електротранспортного засобу з комбінованою системою живлення (АБ-ФБ) з урахуванням підзаряду АБ

© В.І.Будько, С.О.Кудря, В.Б.Павлов, 2014

від ФБ під час технологічних простоїв машини, коли відсутнє споживання енергії від акумуляторної батареї. В цьому випадку енергія фотобатареї визначається за формулою:

$$W_{\Phi}^{'} = P \cdot (t + t_{\Pi}), \qquad (2)$$

де t_{Π} – час стоянки машини, год.

Зведені результати розрахунків експлуатаційного пробігу електротранспортного засобу (проведених за методикою, викладеною в роботі [2]), для різних співвідношень енергоємності АБ ($W_{АБ}$) та різних значень часу t_{Π} наведено в таблиці 1.

Згідно даних, наведених у таблиці 1, побудовано графіки залежностей збільшення пробігу (у відсотках) при t_{Π} = var – для різних значень $W_{АБ}$ (рис. 1) та при $W_{АБ}$ = var для різних значень t_{Π}

З рис. 1 видно, що функція $S = f(t)$ має прямолінійний характер, знижуючи нахил у сторону збільшення $W_{АБ}$ та зменшення t_{Π}. В цей же час $S = f(W_{АБ})$ має криволінійний характер (експонента), і зменшення її величини відбувається по мірі збільшення $W_{АБ}$.(рис. 2).

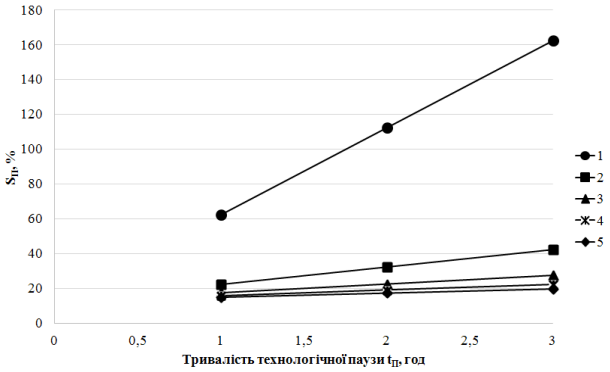

Рис. 1. Залежність відносної величини пробігу електромобіля від тривалості технологічної паузи при $W_{АБ}$ = var: *1 – 1 кВт·год; 2 – 5 кВт·год; 3 – 10 кВт·год; 4 – 15 кВт·год; 5 – 20 кВт·год.*

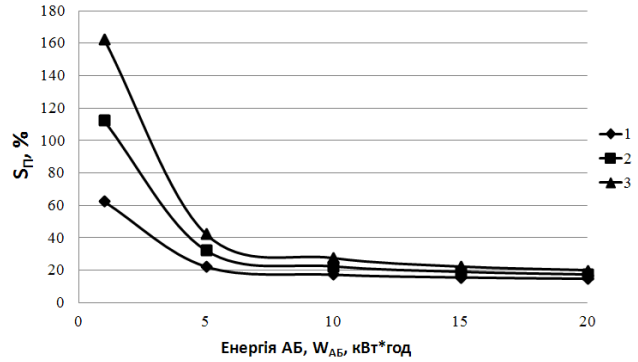

Рис. 2. Залежність відносної величини пробігу електромобіля від енергії акумуляторної батареї при t_{Π} = var: *1 – 1 год; 2 – 2 год; 3 – 3 год.*

Таблиця 1. Результати розрахунків експлуатаційних показників електромобіля при використанні комбінованого джерела живлення

№ п/п	q, кВт · год/км	$W_{АБ}$, кВт · год	P_{Φ}, кВт	$S_{АБ}$, км	t, год	W_{Φ}, кВт · год	W, кВт · год	S, км	$t_{П}$, год	$W_{\Phi П}$, кВт ·год	$W_{П}$, кВт · год	$S_{П}$, км	S, %	$S_{П}$, %
1	0,1	1	0,5	10	0,25	0,125	1,125	11,25	1	0,625	1,625	16,25	12,5	62,5
									2	1,125	2,125	21,25	12,5	112,5
									3	1,625	2,625	26,25	12,5	162,5
2	0,1	5	0,5	50	1,25	0,625	5,625	56,25	1	1,125	6,125	61,25	12,5	22,5
									2	1,625	6,625	66,25	12,5	32,5
									3	2,125	7,125	71,25	12,5	42,5
3	0,1	10	0,5	100	2,5	1,25	11,25	112,5	1	1,75	11,75	117,5	12,5	17,5
									2	2,25	12,25	122,5	12,5	22,5
									3	2,75	12,75	127,5	12,5	27,5
4	0,1	15	0,5	150	3,75	1,875	16,875	168,75	1	2,375	17,375	173,75	12,5	15,8
									2	2,875	17,875	178,75	12,5	19,16
									3	3,375	18,375	183,75	12,5	22,25
5	0,1	20	0,5	200	5	2,5	22,5	225	1	3	23	230	12,5	15
									2	3,5	23,5	235	12,5	17,5
									3	4	24	240	12,5	20

Таким чином, видно, що застосування фотобатареї на автономному транспортному засобі більш суттєво впливає на величину пробігу при умові відносного співставлення по вихідному струму фотобатареї та зарядному струму базової АБ, тобто, чим менша ємність останньої, тим більше проявляється ефект ФБ на величину пробігу електромобіля.

В цей же час, як показує практика, більш доцільно проводити заряд тягових електромобільних акумуляторів від фотобатареї в стаціонарних умовах. При цьому існує можливість здійснювати штатний (згідно інструкції виробника АБ) заряд, що не завжди можливо при використанні в якості джерела фотобатареї, яка розміщена на транспортному засобі, враховуючи обмеження по площі ФБ. Однак, при стаціонарному заряді також необхідно враховувати ряд факторів, що впливають на величину потужності ФБ, основними з яких є інтенсивність сонячної радіації та площа.

Режими роботи фотоелектричних станцій (ФЕС) для зарядження тягових акумуляторних батарей електромобілів залежать від ряду факторів, що обумовлені показниками інтенсивності сонячної радіації протягом року для місця розташування зарядної станції, температурними режимами роботи фотоелектричних панелей (ФЕП), а також режимами експлуатації електромобілів.

Відомо [3], що виробіток електричної енергії ФЕС залежить від параметрів інтенсивності сонячної радіації I_{CP}, Вт/м^2. Наприклад, для ФЕП типу PV-MLU250HC компанії *Mitsubishi Electric* встановленою потужністю P_{BCT} = 250 Вт залежності потужності та струму мають лінійний характер і описуються відповідно наступними рівняннями:

$$P_{BTC} = 0,2534 \cdot I_{CP} - 4,1235, \quad (3)$$

$$I = 0,0081 \cdot I_{CP} - 0,0066. \quad (4)$$

Поряд з цим, зміна напруги ФЕП від параметрів інтенсивності сонячної радіації має характер полінома (рис. 3) та описується наступним рівнянням:

$$U = -4 \cdot 10^{-6} \cdot I_{CP}^2 - 0,0083 \cdot I_{CP} + 26,389. \quad (5)$$

Відомо [4], що інтенсивність сонячної радіації на поверхні Землі має випадковий характер і змінюється протягом доби, досягаючи свого максимуму в полудень, та протягом року, досягаючи максимуму в літні місяці і мінімуму в зимові. Різним регіонам планети властива різна інтенсивність сонячної радіації протягом року – в районах пустель у зимовий час надходження сумарної сонячної радіації майже в 2 рази менше порівняно з літнім періодом року, в районах високих широт – менше майже в 10 разів. Так, у південних районах України це співвідношення дорівнює 4-5, а в північних – 6-7. Згідно [4], середні показники інтенсивності сонячної радіації для регіону міста Києва мають типовий характер зростання від січня до липня з наступним спаданням до грудня місяця.

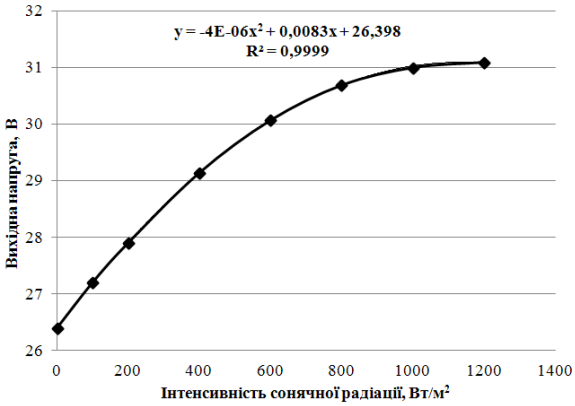

Рис. 3. Залежність вихідної напруги ФЕП типу PV-MLU250HC від інтенсивності сонячної радіації.

Розглянемо на прикладі свинцево-кислотних АБ можливість реалізації процесу зарядження від ФЕС. Згідно [5], ефективне зарядження класичних тягових свинцево-кислотних акумуляторних батарей можливе за умови, що джерело живлення забезпечує зарядний струм $0,1 \cdot Q_H$. Враховуючи цю вимогу, доцільно дослідити вплив параметрів інтенсивності сонячної радіації (I_{CP}) на обґрунтування потужності ФЕС (P_{BCT}) (площі ФЕС $S_{ФЕС}$) для зарядження тягової АБ різної ємності ($Q_{АБ}$) і розглянути просторовий вплив трикоординатної системи.

При проведенні розрахунків прийняті наступні умови:

1. Мінімальний необхідний час зарядження тягової АБ від ФЕС становить 4 год.

2. Розрахунок виробітку електроенергії проведено в програмному забезпеченні PVGIS.

3. Струм зарядження тягової АБ становить не менше $0,1 \cdot Q_H$.

4. При комутації ФЕП прийнята схема 4-х послідовно з'єднаних модулів при нарощуванні паралельного ланцюга (рис. 4).

5. Розробка схеми проводилась на основі використання електричних параметрів фотоелектричних панелей типу PV-MLU250HC (табл. 2).

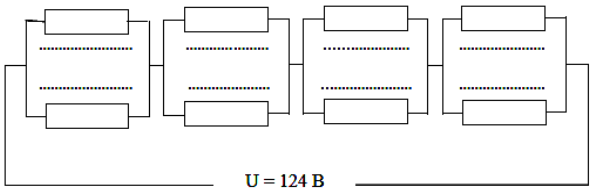

Рис. 4. Схема підключення ФЕП для забезпечення напруги на клемах 124 В та варіацією вихідного струму для зарядження тягової АБ.

Таблиця 2. Технічні параметри фотоелектричної панелі типу PV-MLU250HC [6].

№	Назва параметра	Величина
1	Тип комірки	Монокристалічний кремній
2	Розміри комірки, мм	78 × 156
3	Кількість комірок на одній панелі, шт.	120
4	Максимальна потужність, Вт	250
5	Гарантоване мінімальне значення максимальної потужності, Вт	242,5
6	Напруга холостого ходу, В	37,6
7	Струм короткого замикання, А	8,79
8	Напруга при максимальній потужності, В	31
9	Струм при максимальній потужності, А	8,08
10	Коефіцієнт корисної дії, %	15,1
11	Допустимі відхилення максимальної потужності, %	± 3
12	Нормальна робоча температура комірки, ºС	45,7
13	Максимальна напруга системи, В	600
14	Струм спрацювання запобіжника, А	15
15	Габаритні розміри, мм	1625 × 1019 × 46
16	Вага, кг	20

Вибір схеми комутації ФЕП для стаціонарної ФЕС (рис. 5), призначеної для зарядження тягових АБ, що експлуатуються в електромобілях, проводився згідно наступних міркувань. Згідно [7], реалізація процесу зарядження можлива за умови, коли вихідна напруга джерела енергії (в нашому випадку ФЕС) більша від напруги споживача (АБ). Для конкретно прийнятого прикладу виконання цієї умови при врахуванні залежності напруги від величини інтенсивності сонячної радіації можливе за рахунок послідовного з'єднання 4-х ФЕП типу PV-MLU250HC. За умови номінальної напруги тягової АБ 100 В оптимальне значення напруги ФЕС становитиме 124 В (при I_{CP} = 1000 Вт/м^2), а нижнє значення – 108 В (при I_{CP} = 100 Вт/м^2).

Не менш важливим фактором при розробленні схеми з'єднання ФЕП є врахування впливу змінного характеру інтенсивності сонячної радіації (I_{CP}) на вихідний струм ФЕС. Враховуючи кліматометеорологічні умови міста Києва [4], а також першу умову для проведення розрахунків (мінімальний необхідний час зарядження тягової АБ від ФЕС становить 4 год), встановлено, що для забезпечення класичного заряду тягової АБ (ємністю 100 А·год, напругою 100 В) зарядним струмом не менше 10 А необхідне встановлення ФЕС потужністю 9 кВт (площа 59,616 м^2) при паралельному з'єднанні 9-ти ФЕП типу PV-MLU250HC. При цьому графік залежності вихідного струму ФЕС для зарядження тягової АБ без урахування температурного впливу для різних місяців року матиме змінний характер (рис. 5).

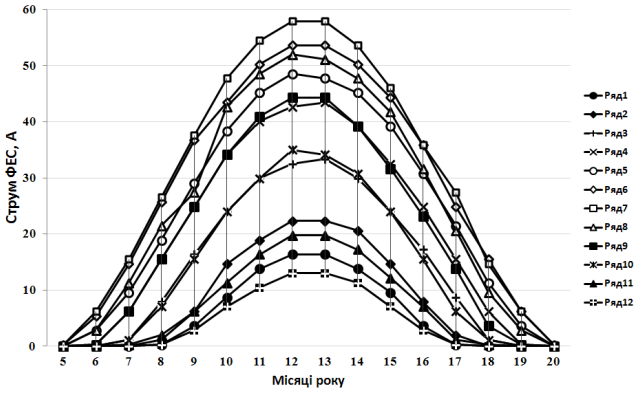

Рис. 5. Вихідний струм ФЕС встановленою потужністю 9 кВт протягом доби для регіону міста Києва протягом року по місяцях: *ряд 1 – січень; ряд 2 – лютий; ряд 3 – березень; ряд 4 – квітень; ряд 5 – травень; ряд 6 – червень; ряд 7 – липень; ряд 8 – серпень; ряд 9 – вересень; ряд 10 – жовтень; ряд 11 – листопад; ряд 12 – грудень.*

При розрахунках виробітку електричної енергії ФЕС враховано температурні втрати, втрати кутових ефектів віддзеркалення, втрати в кабелях, інверторах та іншому допоміжному обладнанні.

При цьому реальний виробіток електричної енергії протягом року становить 9210 кВт·год, а характер виробітку має наступний вигляд (таблиця 3 та рис. 6). Слід відмітити, що використання електроенергії при вихідних струмах ФЕС менше 10 А є неефективним при класичному методі зарядження тягових АБ.

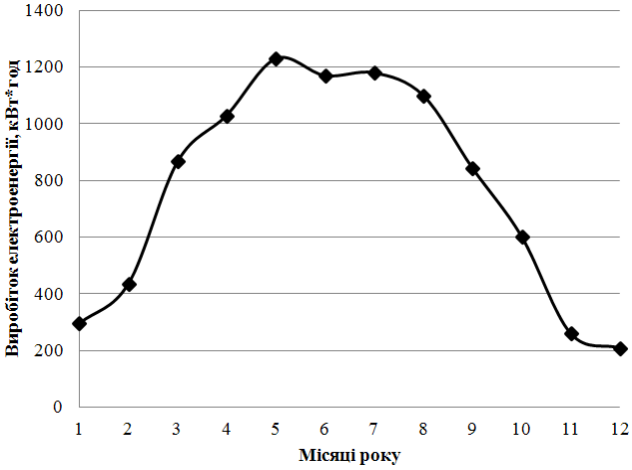

Рис. 6. Виробіток електричної енергії ФЕС встановленою потужністю 9 кВт протягом року по місяцях для регіону міста Києва.

Цікавим фактом з точки зору розроблення схеми комутації ФЕП у загальній схемі є встановлення просторової залежності між стохастичним параметром інтенсивності сонячної радіації та площею ФЕС, яка необхідна для задоволення потреб у зарядному струмі згідно з експлуатацією АБ (рис. 7).

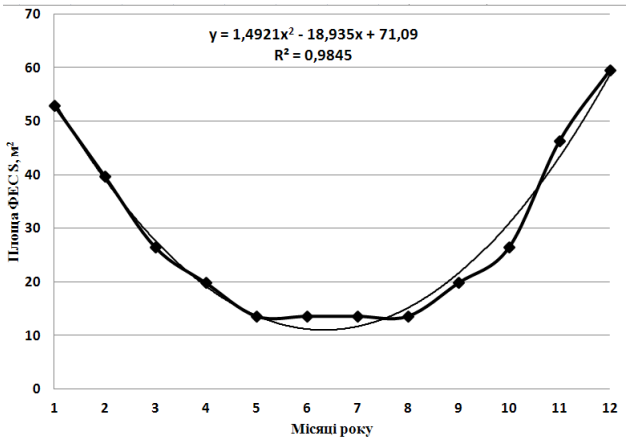

Рис. 7. Виробіток електричної енергії ФЕС встановленою потужністю 9 кВт протягом року по місяцях для регіону міста Києва.

Таблиця 3. Зведені показники виробітку електричної енергії ФЕС встановленою потужністю 9 кВт

Місяці	Середньодобовий виробіток електроенергії, кВт·год	Середньомісячний виробіток електроенергії, кВт·год	Середньодобовий прихід сонячної радіації, кВт·год/м^2	Середньомісячний прихід сонячної радіації, кВт·год/м^2
Січень	9,52	295	1,24	38,5
Лютий	15,6	436	2,08	58,3
Березень	28	867	3,86	120
Квітень	34,2	1030	4,97	149
Травень	39,5	1230	5,95	185
Червень	38,9	1170	5,89	177
Липень	38	1180	5,83	181
Серпень	35,6	1100	5,41	168
Вересень	28,1	844	4,11	123
Жовтень	19,4	603	2,73	84,7
Листопад	8,65	260	1,17	35,1
Грудень	6,71	208	0,88	27,2
Сумарно за рік		9210		1350

Таким чином, можна зробити наступні **висновки:**

- використання ФЕС на базі екіпажної частини електромобіля дозволяє збільшити експлуатаційний пробіг останнього при зарядженні АБ під час руху транспортного засобу, а тим більше під час технологічного простою;
- найбільш ефективним є стаціонарний заряд АБ електромобіля, оскільки при цьому досягається заряд згідно технічної документації щодо експлуатації акумуляторів;
- враховуючи змінний характер інтенсивності сонячної радіації як протягом доби, так і протягом року, запропоновано новий метод зарядження АБ від ФЕС шляхом комутації секцій ФЕП у процесі заряду.

1. Мхитарян Н.М., Кудря С.А., Головко В.М., Пав-

лов В.Б., Мостовяк И.В. Определение величины межзарядного пробега гибридных электромобилей с солнечной батарей // Відновлювана енергетика. – 2007. – №2. – С. 27–30.

2. *Шидловский А.К., Павлов В.Б., Юрченко О.Н.* Гибридный электромобиль // Технічні термодинаміка. Тематичний випуск "Силова електроніка та енергоефективність". – Київ, 2002. – Ч. 2. – С. 21–28.

3. *Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії* / Кудря С.О. – Підручник. – Київ: Національний технічний університет України ("КПІ"), 2011. – 495 с.

4. *Справочник по климату СССР*, выпуск 10, Украинская ССР, часть 1, "Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние". – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1966. – 124 с.

5. *ГОСТ 28133-89* Батареи аккумуляторные свинцовые тяговые. Технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2007. – 7 с.

6. *Електронний ресурс, джерело доступу* www.mitsubishielectricsolar.com

7. *Будько В.І., Кудря С.О., Головко В.М., Павлов В.Б.* Підвищення ефективності акумулювання енергії вітру в автономних системах // Відновлювана енергетика. – 2009. – №2. – С. 25–31.

УДК 621. 311

С.В.Губин, канд.техн.наук, **М.Г.Гонтарь** (Национальный аэрокосмический ун-т им. Н.Е.Жуковского "ХАИ", Харьков)

Постановка задачи комплексирования нетрадиционной энергетической установки для электроснабжения автономного объекта

В статье перечислены сферы применения и актуальность выбора ветро-солнечной энергетической установки. Рассмотрен комплексный подход описания сложных энергетических систем (ЭС). Проведен анализ характеристик элементов ЭС, на основании которого составлена математическая модель установки в общем виде.

У статті перераховані сфери застосування та актуальність вибору вітро-сонячної енергетичної установки. Розглянуто комплексний підхід опису складних енергетичних систем (ЕС). Проведено аналіз характеристик елементів ЕС, на основі якого складена математична модель установки в загальному вигляді.

Введение. Для большинства технический систем необходимо создание автономного энергетического комплекса, который бы в полной мере обеспечил работу объекта. Поэтому проектирование системы электроснабжения напрямую зависит от потребителя. Будем рассматривать отдаленных автономных потребителей, которые не включены в общегосударственную энергетическую систему: места отдыха, прежде всего, сезонного, лечебные учреждения, локальные складские и производственные сооружения, неподготовленные и временные стройплощадки, фермерские хозяйства, частные дома, коттеджи, станции сотовой связи, пункты метеорологического и дорожно-транспортного мониторинга и т.д. Из существующего разнообразия объектов, требующих систем автономного энергообеспечения, особый интерес представляют базовые станции сотовой связи. Выбор обусловлен тем, что сотовая связь по масштабам и темпам роста объёмов применения находится в числе мировых лидеров, и очевидно, что в обозримом будущем развитие этой технология будет ещё долго оставаться таким же бурным. Основанием этому является дальнейшее увеличение мощности радиосигнала на станциях сотовой связи и повышение вследствие этого её качества и эффективности при неуклонном снижении издержек и цен на различные услуги связи для массового потребителя.

В то же время расширение масштабов сотовой связи ставит перед этой сферой новые задачи, для эффективного решения которых необходимо применить принципиально иные организационные и технологические подходы. В частности, сейчас становится всё более очевидным, что в первую очередь это касается энергетического обеспечения станций сотовой связи. До сих пор наиболее интенсивное развитие сотовой связи

© С.В.Губин, М.Г.Гонтарь, 2014