

## Пример комбинаторной эволюции и прогнозирования требований к коммуникационным системам<sup>1</sup>

Марк Ш. Левин

Институт проблем передачи информации, Российская академия наук, Москва, Россия  
email: mslevin@acm.org

Поступила в редколлегию 24.05.2017

**Аннотация**—В статье исследуется комбинаторная эволюция и прогнозирование модульных систем применительно к системе требований к коммуникациям. Используется иерархическая модель системы требований (локальные альтернативные варианты изменений, их характеристики, древовидная структура над локальными изменениями). Композиция прогноза основана на моделях комбинаторной оптимизации (иерархическое морфологическое проектирование) в виде выбора наилучших локальных изменений и их комбинирования с учетом их совместимости. Иллюстративный пример описывает четырех-стадийную эволюцию и прогнозирование иерархической системы требований к топологии коммуникационной системы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** модульная система, требования, коммуникации, эволюция, прогнозирование, принятие решений, комбинаторная оптимизация

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы многие исследования направлены на вопросы истории и эволюции сетевых коммуникаций (архитектура систем, топология сетей, сетевые функции, возможности систем нового поколения и др.). Некоторые направления исследования эволюции и моделирования коммуникационных систем указаны в таблице 1.

**Таблица 1.** Задачи моделирования эволюции коммуникационных систем

Ном.	Направление исследований	Источник
1.	Моделирование эволюции топологии и маршрутизации в MANETs	[34]
2.	Эволюция программно-определенных сетей (software defined networking - SDN), их архитектуры	[11]
3.	Описание интеллектуальной истории программируемых сетей (SDN)	[4, 30]
4.	История и вызовы в области виртуализации сетевых функций	[3, 29]
5.	Описание эволюции и вызовы в области беспроводных коммуникационных систем ( $G0 \rightarrow G1 \rightarrow G2 \rightarrow G3 \rightarrow G4 \rightarrow G5 \rightarrow G6$ )	[1, 8, 28] [32, 33]
6.	Анализ вызовов и возможностей следующий поколений мобильных коммуникационных сетей	[6, 7]

В общем случае можно исследовать трех-уровневую системную схему (в том числе и применительно к коммуникационным системам): (i) требования к системе, (ii) стандарты, (iii) система/продукт. Очевидно, что задачи системной эволюции и прогнозирования могут быть рассмотрены для каждого указанного уровня.

<sup>1</sup> Исследование выполнено в ИППИ РАН за счет гранта Российского научного фонда (проект 14-50-00150).

В данной статье рассматривается комбинаторная эволюция и прогнозирование требований к коммуникационным системам. Таблица 2 содержит краткий список направлений исследований в области исследований и моделирования системных требований. Исследование базируется на использовании морфологической модели модульной системы (множество частей/компонентов системы, древовидная структура системы, множество проектных альтернатив - DAs для каждой части/компонента системы, порядковые оценки DAs) [14, 16, 20, 21]. При этом композиция (синтез) системы (системы, стандарта, требований) основывается на качестве выбранных DAs и качестве их взаимосвязей (совместимости) (IC). В качестве модели комбинаторного синтеза могут использоваться задача о рюкзаке, задача блочного рюкзака, метод многокритериального морфологического проектирования НММД [14, 16, 20, 21]. Комбинаторный подход автора к задачам моделирования и прогнозирования систем описан в [14–17, 19–21]. В данной работе представлен иллюстративный пример для четырех-стадийной эволюции и прогнозирования требований к топологии коммуникационной системы. Статья базируется на предварительном материале [22].

**Таблица 2.** Задачи исследования системных требований

Ном.	Задача	Источник
1.	Исследование, проектирование системных требований	[5, 27, 31]
2.	Иерархическое моделирование систем требований	[12, 17]
3.	Мониторинг (контроль и слежение) требований	[9]
4.	Анализ требований к виртуализации сетевых функций	[2]
5.	Комбинаторное моделирование эволюции системных требований	[12, 17]
6.	Комбинаторное прогнозирование системных требований	данная работа

## 2. СХЕМА КОМБИНАТОРНОЙ ЭВОЛЮЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Модель системы рассматривается следующим образом [16, 20, 21]: (1) множество элементов системы (частей, компонентов, модулей), (2) структура системы (т.е., структура над элементами системы), например, дерево, иерархия. Дополнительно рассматриваются альтернативы (проектные альтернативы DAs) для элементов системы (включая оценки альтернатив). Для DAs используется следующая информация (это соответствует морфологической модели системы [14, 16, 20, 21]): (а) оценки DAs (например, количественные оценки, порядковые оценки, векторные оценки, оценки на основе мультимножеств); (б) оценки совместимости между DAs различных частей/компонентов системы (порядковые оценки, оценки на основе мультимножеств).

В общем случае, можно рассматривать следующие типы операций изменения (улучшения) системы [14–16, 18, 20, 21]:

**I.** Операции изменения для проектных альтернатив (DAs): 1.1. изменение/улучшение DA  $O_1$ , 1.2. удаление DA  $O_2$ , 1.3. добавление DA  $O_3$ , 1.4. агрегирование DAs  $O_4$ .

**II.** Операции для связей между альтернативами (IC): изменение/улучшение совместимости DAs - IC  $O_5$ .

**III.** Операции для подсистем (части системы, компоненты): 3.1. изменение/улучшение частей системы  $O_6$ , 3.2. удаление части системы  $O_7$ , 3.3. добавление части системы  $O_8$ , 3.4. агрегирование частей системы  $O_9$ .

**IV.** Операции для структуры (конфигурации) системы (изменение/расширение): ( $O_{10}$ ).

Для каждой указанной операции можно рассматривать набор характеристик (например: требуемые ресурсы для выполнения операции, полезность операции - улучшение качества системы после выполнения данной операции). Дополнительно могут использоваться бинарные

отношения над операциями: отношения совместимости, отношение дополнительности, отношение предшествования [16,20]. В результате процесс улучшения системы может рассматриваться как выбор и/или композиция указанных операций изменения/улучшения с учетом целевой функции (функций) и ресурсных ограничений. Таким образом, процесс улучшения можно представить как проектирование конфигурации улучшений (или улучшающей конфигурации) на основе использования комбинаторных оптимизационных моделей (задача о рюкзаке, задача блочного рюкзака, иерархическое морфологическое проектирование - НММД). Общая схема эволюции и прогнозирования системы включает следующие стадии (Рис. 1) [15, 16, 19–21]:

*Стадия 1.* Анализ цепочки поколений системы и выделение изменений системы для соседних поколений системы.

*Стадия 2.* Интеграция изменений системы в общее множество изменений с учетом дополнительных экспертных суждений.

*Стадия 3.* Выбор “базовой” системы для построения версии системы следующего поколения.

*Стадия 4.* Проектирование прогноза системы на основе модификации “базовой” версии системы: реконфигурация на основе комбинаторного синтеза операций изменения/улучшения (т.е., задача о рюкзаке, задача блочного рюкзака, метод НММД).

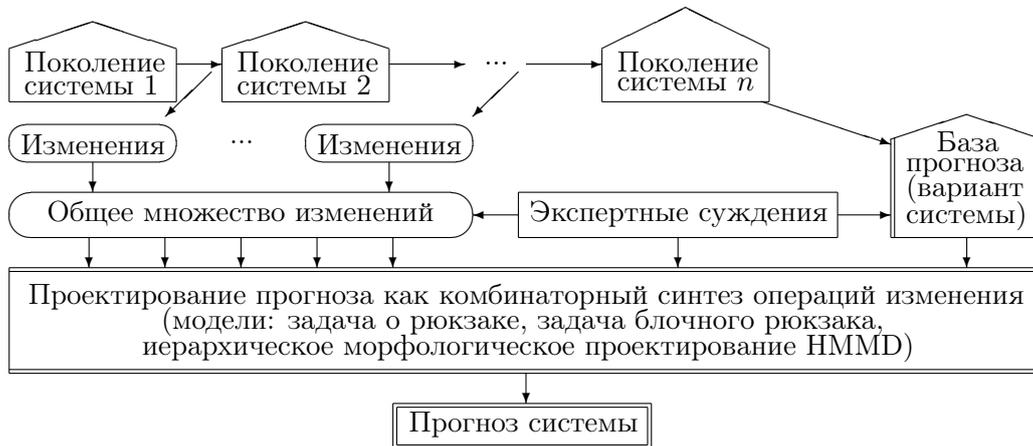


Рис. 1. Схема эволюции и прогнозирования (на основе [19–21])

### 3. ПРИМЕР ЭВОЛЮЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СИСТЕМНЫХ ТРЕБОВАНИЯ

Рассматриваемый иллюстративный пример основан на предварительных данных из [12, 17]. В качестве основы рассмотрены четыре поколения коммуникационных сетей (точнее сетевых топологий):

*Поколение 1.* Простая сеть минимальной стоимости как одно-связная структура (например, покрывающее дерево минимальной стоимости или минимальное дерево Штейнера).

*Поколение 2.* Надежная сеть в виде двух-связного графа.

*Поколение 3.* Сеть с повышенной живучестью (survivable network) в виде двух-связного графа с некоторыми дополнительными дугами.

*Поколение 4.* Много-уровневая сетевая среда (grid-like network environment) с реконфигурируемой топологией (в том числе с свойствами гибкости, модифицируемости/наращиваемости) (flexible, upgradeable).

Соответствующая иерархическая система требований к сетевой топологии имеет вид:

**Часть 1.** Требования пользователей  $A$ :

- 1.1. время передачи данных  $T$ ,
- 1.2. качество передачи данных (ошибки в передаче данных, надежность соединения)  $Q$ ,
- 1.3. стоимость передачи данных  $W$ .

**Часть 2.** Основные требования  $B$ :

2.1. Основные критерии  $I$ : 2.1.1. стоимость  $J$ , 2.1.2. надежность  $R$ , 2.1.3. управляемость (manageability)  $H$ , 2.1.4. удобство технического обслуживания (maintenanceability)  $V$ , 2.1.5. удобство тестирования, тестируемость (testability)  $E$ , 2.1.6. модульность  $M$ ;

2.2. Динамические критерии  $Y$ : 2.2.1. адаптивность  $L$ , 2.2.2. безопасность  $F$ , 2.2.3. гибкость  $K$ .

**Часть 3.** Требования мобильности  $C$ .

**Часть 4.** Эволюция/развитие требований  $D$ :

- 4.1. обновляемость/модифицируемость/расширяемость (upgradeability)  $U$ ,
- 4.2. близость к решеточной структуре  $Z$ .

Для каждой висячей вершины указанной древовидной структуры рассматриваются проектные альтернативы (DAs) (как уровни удовлетворения): нет ( $X_0$ ), низкий уровень удовлетворения требования ( $X_1$ ), средний уровень удовлетворения требований ( $X_2$ ), высокий уровень удовлетворения требований ( $X_3$ ).

Четырех-стадийная эволюция системы требований представлена на Рис. 2, Рис. 3, Рис. 4, Рис. 5 (DAs типа  $X_0$  не указывается). Модульное представление требований имеет вид:

Поколение 1:  $S_1^1 = A_1^1 \star B_1^1 \star C_0^1 \star D_0^1 = (T_1 \star Q_1 \star W_1) \star (J_1 \star R_1 \star H_1 \star V_0 \star E_0 \star M_0) \star (L_0 \star F_0 \star K_0) \star C_0 \star (U_0 \star Z_0)$ .

Поколение 2:  $S_1^2 = A_1^2 \star B_1^2 \star C_0^2 \star D_1^2 = (T_2 \star Q_2 \star W_2) \star (J_3 \star R_2 \star H_1 \star V_1 \star E_1 \star M_1) \star (L_1 \star F_0 \star K_0) \star C_0 \star (U_1 \star Z_0)$ .

Поколение 3:  $S_1^3 = A_1^3 \star B_1^3 \star D_1^3 = (T_2 \star Q_2 \star W_2) \star (J_3 \star R_2 \star H_2 \star V_3 \star E_2 \star M_1) \star (L_2 \star F_1 \star K_1) \star C_0 \star (U_1 \star Z_0)$ .

Поколение 4:  $S_1^4 = A_1^4 \star B_1^4 \star C_1^4 \star D_1^4 = (T_2 \star Q_3 \star W_2) \star (J_3 \star R_2 \star H_2 \star V_3 \star E_2 \star M_2) \star (L_2 \star F_1 \star K_1) \star C_1 \star (U_2 \star Z_1)$ .

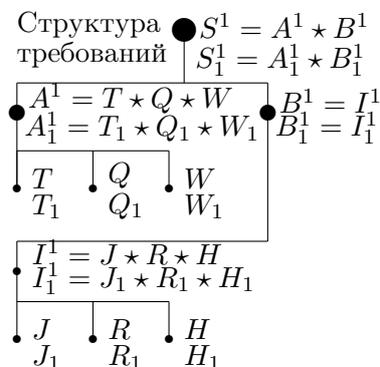


Рис. 2. Поколение 1



Рис. 3. Поколение 2

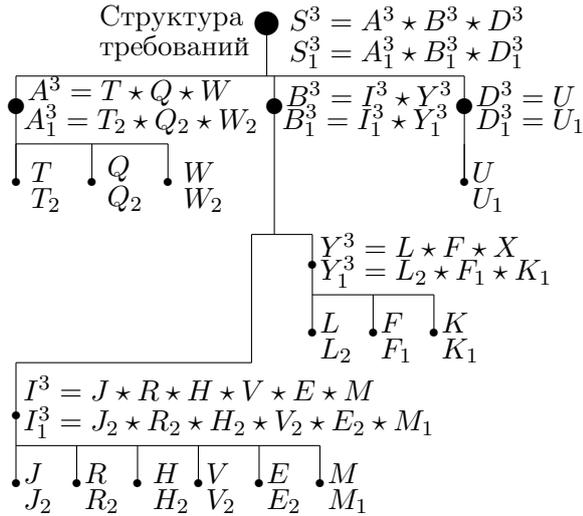


Рис. 4. Поколение 3

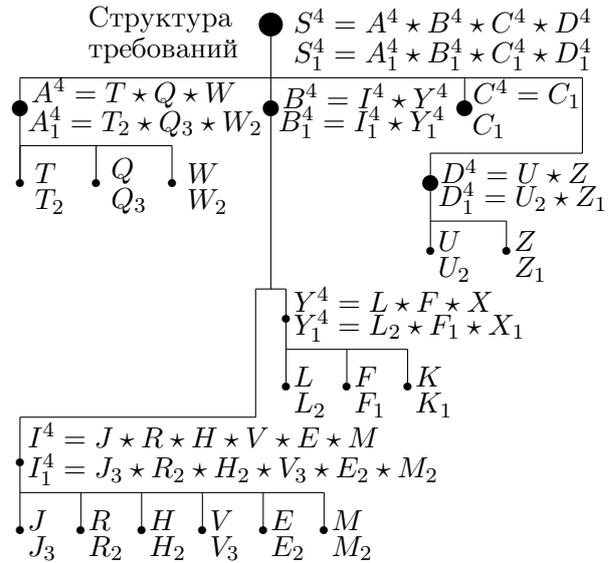


Рис. 5. Поколение 4

Далее рассматриваются локальные операции изменения с двумя характеристиками (т.е., с оценками по двум критериям): (а) стоимость изменения, 0 соответствует лучшему значению; (б) полезность изменения для системы, максимальное значение является наилучшим. Данная информация представлена в таблице 3, таблице 4, таблице 5 (оценки основаны на экспертных суждениях).

**Таблица 3.** Операции изменения:  $S^1 \Rightarrow S^2$

Ном.	Операции изменения	Стоимость	Полезность
1.	$J_1 \rightarrow J_2$	1.5	1.5
2.	$R_1 \rightarrow R_2$	2.0	2.5
3.	$T_1 \rightarrow T_2$	2.2	3.0
4.	$Q_1 \rightarrow Q_2$	1.6	2.0
5.	$W_1 \rightarrow W_2$	1.5	1.4
6.	$V_0 \rightarrow V_1$	2.0	2.1
7.	$E_0 \rightarrow E_1$	1.4	1.7
8.	$M_0 \rightarrow M_1$	1.9	1.5
9.	$L_0 \rightarrow L_1$	1.8	1.5
10.	$U_0 \rightarrow U_1$	2.0	1.6

**Таблица 4.** Операции изменения:  $S^2 \Rightarrow S^3$

Ном.	Операции изменения	Стоимость	Полезность
1.	$H_1 \rightarrow H_2$	2.5	2.5
2.	$V_1 \rightarrow V_2$	2.2	2.4
3.	$E_1 \rightarrow E_2$	1.5	2.0
4.	$L_1 \rightarrow L_2$	1.5	1.8
5.	$F_0 \rightarrow F_1$	1.4	2.0
6.	$K_0 \rightarrow K_1$	1.5	2.1

**Таблица 5.** Операции изменения:  $S^3 \Rightarrow S^4$

Ном.	Операции изменения	Стоимость	Полезность
1.	$Q_2 \rightarrow Q_3$	2.1	3.0
2.	$J_2 \rightarrow J_3$	1.7	2.0
3.	$M_1 \rightarrow M_2$	1.6	1.8
4.	$U_1 \rightarrow U_2$	1.8	2.0
5.	$C_0 \rightarrow C_1$	2.8	3.0
6.	$Z_0 \rightarrow Z_1$	1.5	2.0

Поколение 4  $S^4$  используется как база для прогноза. В таблице 6 представлены перспективные операции изменения (улучшения) системы (т.е., базы): порядковые оценки DAs (приоритеты) основаны на многокритериальном ранжировании по двум характеристикам, итоговая шкала для приоритетов имеет вид [1, 3] (приоритет 1 является наилучшим). Для комбинаторного синтеза конфигурации системного улучшения используется метод НММД [14, 16, 20, 21]. Полученная в результате иерархическая структура системного улучшения представлена на Рис. 6. Порядковые оценки совместимости между DAs содержатся в таблице 7 и таблице 8 (на основе экспертных суждений, порядковая шкала [0, 3], 0 соответствует несовместимости). В результате получают два Парето-эффективных составных системных улучшения (предполагается, что составные DAs для  $A^I, B^I, D^I$  являются совместимыми):

- (1)  $S_1^I = A_1 \star (\tilde{B}_2 \star \hat{B}_2) \star (\tilde{D}_2 \star \hat{D}_3 \star \bar{D}_3)$ , здесь  $N(B_1^I) = (3; 2, 0)$ ,  $N(D_1^I) = (3; 2, 1, 0)$ );
- (2)  $S_2^I = A_1 \star (\tilde{B}_2 \star \hat{B}_2) \star (\tilde{D}_3 \star \hat{D}_3 \star \bar{D}_3)$ , здесь  $N(B_1^I) = (3; 2, 0)$ ,  $N(D_2^I) = (2; 3, 0, 0)$ .

Соответствующие два прогноза для системных требований имеют вид:

- (i)  $S_1^F = A_1^F \star B_1^F \star C_1^F \star D_1^F =$   
 $(T_2 \star Q_3 \star W_2) \star (J_3 \star R_2 \star H_2 \star V_3 \star E_3 \star M_3) \star (L_2 \star F_2 \star K_3) \star C_1 \star (U_2 \star Z_3)$ ;
- (ii)  $S_1^F = A_1^F \star B_1^F \star C_1^F \star D_1^F =$   
 $(T_2 \star Q_3 \star W_2) \star (J_3 \star R_2 \star H_2 \star V_3 \star E_3 \star M_3) \star (L_2 \star F_3 \star K_3) \star C_1 \star (U_2 \star Z_3)$ .

**Таблица 6.** Перспективные улучшения для  $S^4$

Ном.	Операция изменения	Стоимость	Полезность	Приоритет
I.	Часть A:			
1.1.	$A_1$ : нет	0	0	2
1.2.	$A_2: W_2 \rightarrow W_3$	1.4	1.6	1
II.	Часть B:			
2.1.1.	$\tilde{B}_1$ : нет	0	0	3
2.1.2.	$\tilde{B}_2: E_2 \rightarrow E_3$	2.0	2.1	1
2.2.1.	$\hat{B}_1$ : нет	0	0	3
2.2.2.	$\hat{B}_2: M_2 \rightarrow M_3$	1.6	1.9	1
III.	Часть D:			
3.1.1.	$\tilde{D}_1$ : нет	0	0	3
3.1.2.	$\tilde{D}_2: F_1 \rightarrow F_2$	1.7	2.1	2
3.1.3.	$\tilde{D}_3: F_1 \rightarrow F_3$	2.1	3.9	1
3.2.1.	$\hat{D}_1$ : нет	0	0	3
3.2.2.	$\hat{D}_2: K_1 \rightarrow K_2$	1.5	2.0	2
3.2.3.	$\hat{D}_3: K_1 \rightarrow K_3$	3.0	4.1	1
3.3.1.	$\bar{D}_1$ : нет	0	0	3
3.3.2.	$\bar{D}_2: Z_1 \rightarrow Z_2$	1.6	2.0	2
3.3.3.	$\bar{D}_3: Z_1 \rightarrow Z_3$	2.1	4.1	1

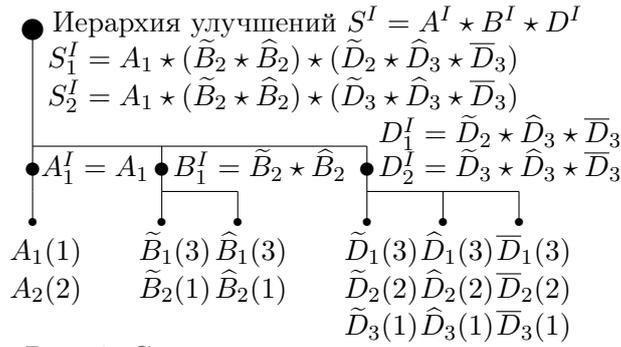


Рис. 6. Структура системного улучшения

Таблица 7. Порядковые оценки совместимости

	$\tilde{B}_1$	$\hat{B}_2$
$\tilde{B}_1$	2	2
$\tilde{B}_2$	2	3

Таблица 8. Порядковые оценки совместимости

	$\tilde{D}_1$	$\tilde{D}_2$	$\tilde{D}_3$	$\hat{D}_1$	$\hat{D}_2$	$\hat{D}_3$
$\tilde{D}_1$	1	1	1	1	1	1
$\tilde{D}_2$	1	1	3	1	1	3
$\tilde{D}_3$	1	1	2	1	1	2
$\hat{D}_1$				1	1	1
$\hat{D}_2$				1	1	1
$\hat{D}_3$				1	1	3

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье приведен первый шаг к интегрированному процессу комбинаторной эволюции и прогнозирования системных требования. В качестве комбинаторной модели системных требований используется иерархическая морфологическая модель. Прогнозирование представлено как комбинаторный синтез локальных изменений на основе метода многокритериального морфологического проектирования НММД (выбор наилучших локальных изменений с учетом их совместимости). Можно указать следующие направления для исследований в будущем:

1. исследование на основе предложенного подхода поколений беспроводных коммуникационных систем (включая эволюцию, прогнозирование),
2. исследование эволюции и прогнозирования систем требований к коммуникационным системам,
3. использование предложенного подхода и приложений в учебных курсах (включая студенческие проекты).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bhala M.R., Bhala A.V., Generations of mobile wireless technology: A survey. Int. J. of Computer Applications, 2010, vol. 5, no. 4, pp. 26–32.
2. Bondan L., Santos C.R.P.d., Granville L.Z., Management requirements for ClickOS-based Network Function Virtualization. In: 2014 10th Int. Conf. on Network and Service Management (CNSM), pp. 447–450. 2014.

3. Chowdhury N.M.K., Boutaba R., A survey of network virtualization. *Computer Networks*, 2010, vol. 54, no. 5, pp. 862–876.
4. Feamster N., Rexford J., Zegura E., The road of SDN: an intellectual history of programmable networks. *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 2014, vol. 44, no. 2, pp. 87–98.
5. Ferbandez D.M., Wagner S., Naming the pain in requirements engineering: A design for a global family of surveys and first results from Germany. *Information and Software Technology*, 2015, vol. 57, pp. 616–643.
6. Han B., Gopalakrishnan V., Ji L., Lee S., Network function virtualization: Challenges and opportunities for innovation. *IEEE Communications Magazine*, 2015, vol. 53, no. 2, pp. 90–97.
7. Hawilo H., Shami A., Mirahmadi M., Asal R., NFV: state of the art, challenges, and implementation in next generation mobile networks (vEPC). *IEEE Networks*, 2014, vol. 28, no. 6, pp. 18–26.
8. Kachhavay M.G., Thakare A.P., 5G technology-evolution and revolution. *Int. J. of Computer Science and Mobile Computing*, 2014, vol. 3, no. 3, pp. 1080–1087.
9. Karakatsanis I., AlKhader W., MacCroy F., Alibasic A., Atif Omar M., Aung Z., Woon W.-L., Data mining approach to monitoring the requirements of the job market: A case study. *Information Systems*, 2017, vol. 65, pp. 1–6.
10. Koren Y., Heisel U., Jovane F., Moriwaki T., Pritzscho G., Ulsoy G., Van Brussel H., Reconfigurable manufacturing systems. *CIRP Ann. Manuf. Technol.*, 1999, vol. 48, no. 2, pp. 527–540.
11. Kreutz D., Ramos F.M.V., Verissimo P.E., Rothenberg C.E., Azodolmolky S., Uhlig S., Software-defined networking: A comprehensive survey. *Proc. of the IEEE*, 2015, vol. 103, no. 1, pp. 14–76.
12. Kuznetsov N.A., Levin M.S., Vishnevsky V.M., Some combinatorial optimization schemes for multi-layer network topology. In: *Electr. Proc. of 17th IMACS World Congress, France, Paper T4-I-42-0486*, 2005.
13. Levin M.Sh., Hierarchical components of human-computer systems. In: *LNCS 753, Springer*, pp. 37–52, 1993.
14. Levin M.Sh., *Combinatorial Engineering of Decomposable Systems*. Springer, 1998.
15. Levin M.Sh., Combinatorial evolution of composite systems. In: *16th Eur. Meeting on Cybern. and Syst. Res.*, vol. 1, Austria, pp. 275–280, 2002.
16. Levin M.Sh., *Composite Systems Decisions*. Springer, 2006.
17. Levin M.Sh., Combinatorial technological systems problems (examples for communication system). In: *Proc. of Int. Conf. on Systems Engineering and Modeling ICSEM-2007, Israel*, pp. 24–32, 2007.
18. Levin M.Sh., Towards communication network development (structural system issues, combinatorial models). In: *2010 IEEE Region 8 Int. Conf. SIBIRCON-2010*, vol. 1, pp. 204–208, 2010.
19. Levin M.Sh., Towards combinatorial evolution of composite systems. *Expert Systems with Applications*, 2013, vol. 40, no. 4, pp. 1342–1351.
20. Левин М.Ш., Технология поддержки решений для модульных систем. Электр. книга, Москва, 2013. <http://www.mslevin.iitp.ru/Levin-bk-Nov2013-071.pdf>
21. Levin M.Sh., *Modular System Design and Evaluation*. Springer, 2015.
22. Levin M.Sh., Note on evolution and forecasting of requirements: communications example. *Electr. prepr.*, 8 p., May 22, 2017. <http://arxiv.org/abs/1705.07558> [cs.NI]
23. Levin M.Sh., Feldman B.J., System evolution: Example for signal processing. In: *Proc. of 14th Intl. Conf. on Systems Engineering ICSE2000, Coventry Univ., UK*, pp. 377–380, 2000.
24. Levin M.Sh., Kruchkov O., Hadar O., Kaminsky E., Combinatorial systems evolution: example of standard for multimedia information. *Informatica*, 2009, vol. 20, no. 4, pp. 519–538.
25. Levin M.Sh., Andrushevich A., Kistler R., Klapproth A., Combinatorial evolution of ZigBee protocol. In: *2010 IEEE Region 8 Int. Conf. SIBIRCON-2010*, vol. 1, pp. 314–319, 2010.

26. Levin M.Sh., Andrushevich A., Kistler R., Klapproth A., Combinatorial evolution and forecasting of communication protocol ZigBee. *Electr. prepr.*, 6 p., Apr. 15, 2012. <http://arxiv.org/abs/1204.3259> [cs.NI]
27. Loucopoulos P., Karakostas V., *System Requirements Engineering*. McGraw Hill, 1995.
28. Mehta H., Patel D., Joshi B., Modi H., 0G to 5G mobile technology: A survey. *J. of Basic and Applied Engineering Research*, 2014, vol. 1, no. 6, pp. 56–60.
29. Mijumbi R., Serrat J., Gorricho J.-L., Bouten N., De Turck F., Boutaba R., *Network Function Virtualization: State-of-the art and Research Challenges*. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2016, vol. 18, no. 1, pp. 236–262.
30. Nunes B.A.A., Mendinca M., Nguen X.-N., Obraszka K., Turletti T., *A survey of software-defined networking: past, present, and future of programmable networks*. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2014, vol. 16, no. 3, pp. 1617–1634.
31. Pohl K., *Requirements Engineering: Fundamentals, Principles, and Techniques*. Springer, 2010.
32. Sharma P., *Evolution of mobile wireless communication networks - 1G to 5G as well future prospective of next generation communication network*. *Int. J. of Computer Science and Mobile Computing*, 2013, vol. 2, no. 8, pp. 47–53.
33. Singh A.P., Nigam S., Gupta N.K., *A study of next generation wireless network 6G*. *Int. J. of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 2007, vol. 4, no. 1, pp. 871–874.
34. Wu X., Sadjadpour H.R., Garcia-Luna-Aceves J.J., *Modeling of topology evolutions and implication on proactive routing overhead in MANETs*. *Computer Communications*, 2008, vol. 31, no. 4, pp. 782–792.

## **Example of combinatorial evolution and forecasting for communications systems**

**Levin M.Sh.**

Combinatorial evolution and forecasting of modular systems is examined with application to system requirements to communications. Hierarchical model of system requirements is used (local alternative versions of changes, their characteristics, tree-like structure over local changes). Composition of the system forecast is based on combinatorial optimization problems (hierarchical morphological design) as selection of the best local changes and their combination while taking into account their compatibility. An illustrative example describes four-stage evolution and forecasting of hierarchical requirements system for topology of communications system.

**KEYWORDS:** modular system, requirements, communications, evolution, forecasting, decision making, combinatorial optimization