

## Анализ функциональной полноты устройств контроля здоровья

*Д.М. Жевакин, С.Н. Широбокова, О.Н. Сериков, М.Е. Диков,*

*Т.И. Перекрестова*

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
имени М.И. Платова, Новочеркасск*

**Аннотация:** В современном мире контроль здоровья является важнейшим элементом повседневной жизни. В статье выделен перечень функциональных возможностей различных устройств (умных часов, фитнес-браслетов) и описаны результаты формализованного анализа функциональной полноты устройств контроля здоровья. На примере двух различных наборов требований пользователя в исследование включены две условные системы, по степени схожести с которыми можно судить насколько анализируемые устройства подходят для данного пользователя.

**Ключевые слова:** устройства контроля здоровья, фитнес-браслет, сравнительный анализ по функциональной полноте, измерения давления, пульса, ЭКГ, контроль тренировок, анализ соответствия требований пользователя к устройствам, схожесть устройств.

Высокий темп современной жизни не всегда позволяет следить за состоянием здоровья. На рынке присутствует множество устройств, позволяющих отслеживать различные показатели здоровья и физических нагрузок (примеры устройств описаны в источниках [1-4]). Сравнение по критерию функциональной полноты, как отмечается в работе [5-7], позволяет количественно оценить соответствие выбранных для сравнения аппаратных продуктов требованиям пользователя для рационального выбора (примеры использования методики для других предметных областей в [8,9]).

С использованием инструментария [10] проведем анализ шести представленных на рынке умных часов (таблица 1), с возможностью измерения сердечных и физических показателей. Для исследования использованы материалы сайтов фирм разработчиков (документация, руководства, описания функционала устройств). Основные функции, которые могут выполнять данные устройства, отображены в таблице 2.

Введем следующие обозначения:  $S = \{S_i\}$  ( $i = 1, \dots, 6$ ) – множество сравниваемых устройств по контролю здоровья;  $F = \{F_j\}$  ( $j = 1, \dots, 28$ ) –

множество функций контроля здоровья, реализуемых устройствами  $\{S_i\}$ ;  
 $X = \{x_{ij}\}$  ( $i = 1, \dots, 6; j = 1, \dots, 28$ ) – матрица сравнения по функциональной полноте,

ее элементы:  $x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-я функция реализуется } i\text{-ым устройством} \\ 0, & \text{если не реализуется.} \end{cases}$

Таблица №1

Рассматриваемые устройства

Код	Название устройства	Источник информации (ссылка)
$S_1$	CardioQVARK	<a href="http://cardioqvark.ru/?scroll=about">http://cardioqvark.ru/?scroll=about</a>
$S_2$	GSMIN WP60	<a href="https://gsm.in.ru/catalog/krasota_i_zdorove/umnye_chasy_i_braslety/umnye_chasy_s_izmereniem_davleniya/chasy_gsm.in_wp60_s_izmereniem_davleniya_pulsa_i_ekg_chernyy/">https://gsm.in.ru/catalog/krasota_i_zdorove/umnye_chasy_i_braslety/umnye_chasy_s_izmereniem_davleniya/chasy_gsm.in_wp60_s_izmereniem_davleniya_pulsa_i_ekg_chernyy/</a>
$S_3$	HerzBand Classic ECG	<a href="https://herz.band/fitness-bracelets/herzband-classic-series/HerzBand-Classic-ECG">https://herz.band/fitness-bracelets/herzband-classic-series/HerzBand-Classic-ECG</a>
$S_4$	Sigma iD.Life	<a href="https://www.sigmasport.com/ru/">https://www.sigmasport.com/ru/</a>
$S_5$	BEURER PM45	<a href="https://www.beurer-russia.ru/i/product_f/207_1.pdf">https://www.beurer-russia.ru/i/product_f/207_1.pdf</a>
$S_6$	No.1 DT28	<a href="https://smartchasy.com/obzory/obzor-smart-chasov-no-1-dt28-stoit-pokupat-ili-net/">https://smartchasy.com/obzory/obzor-smart-chasov-no-1-dt28-stoit-pokupat-ili-net/</a>
$S_7, S_8$	Это условные системы, отражающие разные наборы требований пользователя к функционалу (будут рассмотрены ниже).	

Таблица №2

Описание функционала анализируемых устройств

№ функции	Наименование функции	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_1$	Измерение частоты сердечных сокращений	1	1	1	1	1	1	1	0
$F_2$	Измерение средней частоты сердечных сокращений	1	1	1	1	1	1	1	0
$F_3$	Измерение давления	0	0	1	0	0	1	1	1
$F_4$	Запись ЭКГ	1	1	1	0	1	1	1	0
$F_5$	Измерение пульса	0	1	1	0	1	1	1	1
$F_6$	Контроль глюкозы	1	0	0	0	0	0	1	0
$F_7$	Учет времени тренировок	0	0	0	1	0	0	0	1
$F_8$	Мониторинг сна	0	1	1	0	0	1	0	1
$F_9$	Измерение текущей скорости	0	0	0	1	0	0	0	1

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_{10}$	Наличие шагомера	0	1	1	1	0	0	0	1
$F_{11}$	Измерение общего пробега	0	1	0	1	0	1	0	1
$F_{12}$	Счетчик калорий	0	1	1	1	0	1	0	0
$F_{13}$	Расход энергии	0	0	0	0	1	0	0	0
$F_{14}$	Объем вдыхаемого кислорода	0	0	0	0	1	1	0	0
$F_{15}$	Возможность настройки индивидуальных показателей для измерения давления	0	1	1	0	0	0	1	1
$F_{16}$	Настройки роста	0	0	0	0	1	0	0	0
$F_{17}$	Настройки веса	0	1	0	0	1	0	0	0
$F_{18}$	Настройки возраста	0	1	0	0	1	0	0	0
$F_{19}$	Уведомление о звонках	0	1	1	0	0	1	1	1
$F_{20}$	Уведомление о SMS	0	1	1	0	0	1	1	1
$F_{21}$	Наличие приложения	1	1	1	0	0	1	1	1
$F_{22}$	Запись результатов измерений в приложении	1	1	1	0	0	0	1	1
$F_{23}$	Передача данных врачу	1	0	0	0	0	0	0	0
$F_{24}$	Отсутствие дополнительных приспособлений	1	1	1	1	0	1	1	1
$F_{25}$	Защита от влаги	0	1	1	0	0	1	0	1
$F_{26}$	Отображение времени	0	0	1	1	1	1	0	1
$F_{27}$	Работа в режиме «секундомер», «таймер»	0	0	1	0	1	1	0	1
$F_{28}$	Измерение общего времени тренировок	0	1	0	1	0	1	0	1

По данным табл. 2 проведем согласно методике [2] расчет матриц

$P^{(01)} = \{p_{ik}^{(01)}\}$ ,  $G = \{g_{ik}\}$ ,  $H = \{h_{ik}\}$  ( $i, k \in \overline{1, n}$ ). Полученные матрицы:

$$P_{ik}^{(01)} = \begin{matrix} 0 & 11 & 11 & 6 & 8 & 11 \\ 2 & 0 & 3 & 3 & 5 & 4 \\ 2 & 3 & 0 & 4 & 5 & 2 \\ 5 & 11 & 12 & 0 & 9 & 11 \\ 5 & 11 & 11 & 7 & 0 & 9 \\ 3 & 5 & 3 & 4 & 4 & 0 \end{matrix}; G_{ik} = \begin{matrix} 1,000 & 0,316 & 0,316 & 0,214 & 0,188 & 0,263 \\ 0,316 & 1,000 & 0,700 & 0,300 & 0,273 & 0,571 \\ 0,316 & 0,700 & 1,000 & 0,238 & 0,273 & 0,737 \\ 0,214 & 0,300 & 0,238 & 1,000 & 0,111 & 0,250 \\ 0,188 & 0,273 & 0,237 & 0,111 & 1,000 & 0,350 \\ 0,263 & 0,571 & 0,737 & 0,250 & 0,350 & 1,000 \end{matrix}$$

$$H_{ik} = \begin{matrix} 1,000 & 0,750 & 0,750 & 0,375 & 0,375 & 0,625 \\ 0,353 & 1,000 & 0,824 & 0,353 & 0,353 & 0,706 \\ 0,353 & 0,824 & 1,000 & 0,294 & 0,353 & 0,824 \\ 0,333 & 0,667 & 0,556 & 1,000 & 0,222 & 0,556 \\ 0,273 & 0,545 & 0,545 & 0,182 & 1,000 & 0,636 \\ 0,313 & 0,750 & 0,875 & 0,313 & 0,438 & 1,000 \end{matrix}$$

Получим логические матрицы отношения поглощения (включения) путем преобразования матриц  $P_{ik}^{(01)}$ ,  $G_{ik}$ ,  $H_{ik}$  при пороговых значениях  $\varepsilon_p = 10$ ;  $\varepsilon_g = 0,70$   $\varepsilon_h = 0,70$  соответственно [5-6]:

$$P_o = \{p_{ik}^o\}, G_o = \{g_{ik}^o\}, H_o = \{h_{ik}^o\} \quad (i, k \in \overline{1, n}), \quad p_{ik}^o = \begin{cases} 1, \text{если } P_{ik}^{(01)} \leq \varepsilon_p \text{ и } i \neq k; \\ 0, \text{если } P_{ik}^{(01)} > \varepsilon_p \text{ или } i = k; \end{cases}$$
$$g_{ik}^o = \begin{cases} 1, \text{если } g_{ik} \geq \varepsilon_g \text{ и } i \neq k; \\ 0, \text{если } g_{ik} < \varepsilon_g \text{ или } i = k; \end{cases} \quad h_{ik}^o = \begin{cases} 1, \text{если } h_{ik} \geq \varepsilon_h \text{ и } i \neq k; \\ 0, \text{если } h_{ik} < \varepsilon_h \text{ или } i = k; \end{cases}$$

где  $\varepsilon_p$ ,  $\varepsilon_g$ ,  $\varepsilon_h$  – выбранные граничные значения. При  $\varepsilon_p = 10$ ;  $\varepsilon_g = 0,70$   $\varepsilon_h = 0,70$  получаем следующий вид матриц:

$$P_0^{(01)} = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{matrix}; \quad G_0 = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}; \quad H_0 = \begin{matrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

Построенные по матрицам  $P_0$ ,  $G_0$  и  $H_0$  графы наглядно показывают различия в функциональных возможностях исследуемых устройств. По графу превосходства (рис. 2а), видно, какие из сравниваемых устройств и насколько превосходят друг друга. При пороговом значении  $\varepsilon_p = 10$ , устройства  $S_2$  и  $S_3$  обладают наибольшей функциональной полнотой, превосходя устройства  $S_1$ ,  $S_4$  и  $S_5$ . Устройство  $S_6$  превосходит устройство  $S_1$  и  $S_4$ , а устройства  $S_2$ ,  $S_3$  и  $S_6$  не имеют взаимного превосходства.

Насколько исследуемые устройства схожи по функционалу можно оценить по матрице  $G = \{g_{ik}\}$ . Граф подобия между сравниваемыми устройствами (рис. 2б) построен по матрице  $G_0$  для порогового значения  $\varepsilon_g = 0,70$ . Граф иллюстрирует, что устройства  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_6$  имеют наиболее высокую степень подобия. Устройства  $S_2$  и  $S_3$  подобны друг другу на 70%, а  $S_3$  и  $S_6$  подобны друг другу на 73,68%. Степень подобия между собой остальных устройств – менее 70%, поэтому они в графе не имеют взаимных связей.

На основе матрицы  $H_0$  построен граф поглощения (рис. 2в), для порогового значения  $\varepsilon_h = 0.70$ . Из рисунка видно: устройства  $S_2$ ,  $S_3$  и  $S_6$  имеют взаимное поглощение, а также устройства  $S_2$  и  $S_3$  поглощают устройство  $S_1$ .

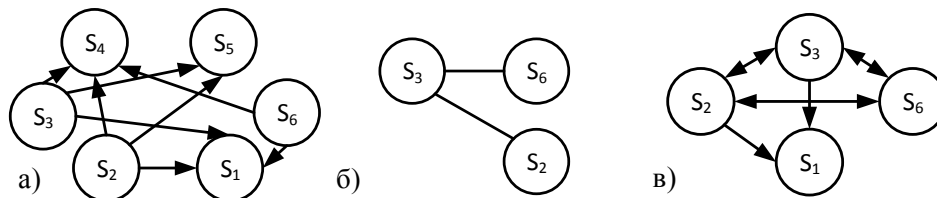


Рис. 2. – Граф превосходства при  $\varepsilon_p = 10$  (а), граф подобия при  $\varepsilon_g = 0,70$  (б) и граф поглощения при  $\varepsilon_h = 0,70$  (в)

Кроме сравнения функционала устройств между собой пользователю важно определить, какие из них позволяют в наибольшей степени решить его задачи. Чтобы подобрать такие устройства необходимо провести сравнительный анализ с «условным» устройством по контролю здоровья. Для этого условного устройства пользователь, исходя из условий использования и типов необходимых приложений, формирует список предпочтительных функций [5-6]. Допустим, что пользователем выделены в качестве предпочтительных функции с упором на контроль здоровья для прибора  $S_7$  или с упором на занятия спортом для прибора  $S_8$  (таблица 2, колонки 9,10).

В результате перерасчета матриц  $P_{ik}^{(01)}$ ,  $G_{ik}$ ,  $H_{ik}$  с учетом добавления условных систем  $S_7$  и  $S_8$  и их преобразования в логические матрицы отношения поглощения (включения) для пороговых значений  $\varepsilon_p = 8$ ;  $\varepsilon_g = 0,60$ ;  $\varepsilon_h = 0,80$  соответственно, графы, построенные на их основе, примут вид, как на рис. 3. На графе превосходства (рис. 3а, при  $\varepsilon_p = 8$ ) видно, что устройства  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_8$  обладают наибольшей функциональной полнотой, превосходя устройства  $S_1$ ,  $S_4$ ,  $S_5$ ,  $S_7$ . Устройство  $S_6$  превосходит устройства  $S_1$ ,  $S_4$  и  $S_5$ . Устройства  $S_5$  и  $S_7$  превосходят устройство  $S_4$ , а устройства  $S_2$ ,  $S_3$  и  $S_8$  не имеют взаимного превосходства. Граф подобия между сравниваемыми устройствами (рис. 3б), построенный по матрице  $G_0$  при  $\varepsilon_g = 0,60$ ,

иллюстрирует, что группа из пяти устройств имеет более высокую степень подобия:  $S_2, S_3, S_6, S_7, S_8$ . Устройства  $S_2$  и  $S_3$  подобны друг другу на 70%, устройства  $S_3$  и  $S_7$  на 61,111%, устройства  $S_3$  и  $S_8$  на 61,905%, а также устройства  $S_3$  и  $S_6$  подобны друг другу на 73,68%. Вершины графа, соответствующие остальным устройствам, не имеют в графе взаимных связей, поскольку подобны между собой менее чем на 60%. Из рис. 3в видно: устройства  $S_2, S_3, S_6$  и  $S_8$  имеют взаимное поглощение, а также устройства  $S_2, S_3$  и  $S_6$  поглощают устройство  $S_7$ , а устройство  $S_7$  поглощает устройство  $S_1$ .

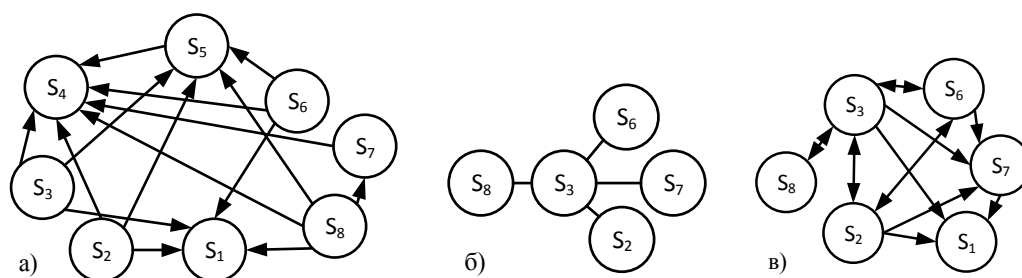


Рис. 3. – Граф превосходства при  $\varepsilon_p = 8$  (а), граф подобия по реализуемым функциям при  $\varepsilon_g = 0,60$  (б), граф поглощения при  $\varepsilon_h = 0,80$  (в)

В результате применения рассмотренной методики еще на стадии предварительного анализа можно исключить из дальнейшего рассмотрения устройства по отслеживанию здоровья, в которых не реализуются нужные пользователю функции по контролю здоровья. Пользователю предоставляется возможность количественно оценить степень соответствия устройства его требованиям к функционалу, сформировать группу устройств, имеющих схожую функциональную полноту. Далее он может сопоставить их стоимость, другие характеристики и сделать окончательный выбор.

### Литература

1. Синютин С.А., Леонова А.В. Интегрированные в одежду электроды для регистрации ЭКГ // Инженерный вестник Дона. 2019. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2029.



2. Wooseong Jeong, Jinkyu Song, Jihoon Bae, Koteeswara Reddy Nandanapalli, Sungwon Lee. Breathable Nanomesh Humidity Sensor for Real-Time Skin Humidity Monitoring // American Chemical Society. 2019. URL: doi.org/10.1021/acsami.9b17584.

3. Yuhao Liu, Matt Pharr, Giovanni Antonio Salvatore. Lab-on-Skin: A Review of Flexible and Stretchable Electronics for Wearable Health Monitoring // American Chemical Society. 2017. URL: doi.org/10.1021/acsnano.7b04898.

4. Никитин П.В., Мурадянц А.А., Шостак Н.А. Мобильное здравоохранение возможности, проблемы, перспективы // Клиницист. 2015. №4. С. 13-21.

5. Хубаев Г.Н. Сравнение сложных программных систем по критерию функциональной полноты // Программные продукты и системы (SOFTWARE&SYSTEMS). 1998. №2. С. 6-9.

6. Хубаев Г.Н. Сегментирование рынка на основе различий в требованиях покупателей к функциональной полноте товара: универсальная методика (на примере программных продуктов) // Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 3 (93). С. 219-224.

7. Щербаков С.М. Метод анализа сложных систем по критерию функциональной полноты: расширение и адаптация // Системное управление. 2010. №2(8). URL: sisupr.mrsu.ru/wp-content/uploads/2015/02/SCHERBAKOV\_1.pdf

8. Широбокова С.Н., Сериков О.Н. Формализованный анализ функциональной полноты систем видеоаналитики // Инженерный вестник Дона. 2019. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5465.

9. Мирошниченко И.И., Щербаков С.М., Клименко А.А., Самарская М.В. Сравнительная оценка функциональной полноты программных средств автоматизированного формирования учебно-методической документации // Прикладная информатика. 2019. Т.14. № 6 (84). С. 5-12.

---



10. Хубаев Г. Н., Щербаков С. М., Аручиди Н. А. ПС анализа сложных систем по критерию функциональной полноты «Ireland» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ RUS №2009615296. М.: РОСПАТЕНТ, 2009.

### References

1. Sinyutin S.A., Leonova A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2029](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2029).

2. Wooseong Jeong, Jinkyu Song, Jihoon Bae, Koteeswara Reddy Nandanapalli, Sungwon Lee. American Chemical Society 2019. URL: [doi.org/10.1021/acsami.9b17584](https://doi.org/10.1021/acsami.9b17584).

3. Yuhao Liu, Matt Pharr, Giovanni Antonio Salvatore. American Chemical Society. 2017. URL: [doi.org/10.1021/acsnano.7b04898](https://doi.org/10.1021/acsnano.7b04898).

4. Nikitin P.V., Muradyan A.A., Shostak N.A. Clinician. 2015. №4. pp. 13-21.

5. Khubaev G.N. Programmnye produkty i sistemy (Software&Systems). 1998. №2. pp. 6-9.

6. Khubaev G.N. Nauka i biznes: puti razvitiya.2019. № 3 (93). pp. 219-224.

7. Shcherbakov S.M. Sistemnoe upravlenie. 2010. №2 (8). URL: [sisupr.mrsu.ru/wp-content/uploads/2015/02/SCHERBAKOV\\_1.pdf](http://sisupr.mrsu.ru/wp-content/uploads/2015/02/SCHERBAKOV_1.pdf).

8. Shirobokova S.N., Serikov O.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5465](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5465).

9. Miroshnichenko I.I., Shcherbakov S.M., Klymenko A.A., Samarskaya M.V. Prikladnaya informatika. 2019. V.14. № 6 (84). pp. 5-12.

10. Khubaev G.N., Shcherbakov S.M., Aruchidi N.A. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlya EVM RUS №2009615296. 2009.