

Научная статья

УДК 004.5; DOI: 10.61260/2218-13X-2024-3-146-163

ВЛИЯНИЕ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И КОГНИТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НА ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ В ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТАХ

✉ **Вострых Алексей Владимирович.**

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ a.vostrykh@list.ru

Аннотация. Сегодня существенная часть профессиональных задач выполняется при помощи различных программных продуктов, эффективность выполнения которых и работоспособность операторов в целом зависит от широкого спектра факторов, зависящих как от характеристик пользователей программ, так и от других показателей. Учёт данных факторов при проектировании программ и их интерфейсов позволит повысить показатели успешной деятельности пользователей за счёт улучшения качества программ под требования и потребности целевой аудитории.

В статье проведён эксперимент, демонстрирующий влияние таких характеристик пользователей, как: возраст, гендерная принадлежность и уровень компьютерной грамотности на их работоспособность в программных продуктах, что подтвердило целесообразность разработки моделей пользователей при проектировании программных продуктов.

Полученные значения характеристик пользователей в дальнейшем будут использоваться при оценке эффективности программных продуктов для выбора наиболее качественного продукта из множества аналогов и прогнозировании работоспособности операторов в течение трудовой смены для оптимального распределения человеческих и временных ресурсов.

Ключевые слова: работоспособность, характеристики пользователей, нагрузка, программные продукты

Для цитирования: Вострых А.В. Влияние психофизиологических и когнитивных характеристик пользователей на их работоспособность в программных продуктах // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2024. № 3. С. 146–163. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-3-146-163.

Scientific article

THE INFLUENCE OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL AND COGNITIVE CHARACTERISTICS OF USERS ON THEIR PERFORMANCE IN SOFTWARE PRODUCTS

✉ **Vostrykh Alexey V.**

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ a.vostrykh@list.ru

Abstract. Today, a significant part of professional tasks is performed using various software products, the effectiveness of which and the operability of operators as a whole depends on a wide range of factors that depend on both the characteristics of program users and other indicators. Taking these factors into account when designing programs and their interfaces will increase the success rates of users by improving the quality of programs to meet the requirements and needs of the target audience.

In this article, an experiment was conducted demonstrating the influence of user characteristics such as age, gender, and computer literacy on their performance in software products, which confirmed the expediency of developing user models when designing software products.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2024

The obtained values of user characteristics will be used in the future to evaluate the effectiveness of software products to select the highest quality product from a variety of analogues and to predict the performance of operators during a work shift for the optimal distribution of human and time resources.

Keywords: efficiency, user characteristics, load, software products

For citation: Vostrykh A.V. The influence of psychophysiological and cognitive characteristics of users on their performance in software products // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2024. № 3. P. 146–163. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-3-146-163.

Введение

Динамика современного цифрового мира характеризуется бурным развитием программного обеспечения, что приводит к интенсивному выпуску на рынок самых разнообразных программных продуктов (ПП), которые в большинстве своём обладают графическими пользовательскими интерфейсами (ГПИ), выступающими посредниками между пользователями и машинными алгоритмами [1–3]. Многочисленные исследования показали, что от эффективности реализации ГПИ зависят результативность работы пользователей, их работоспособность и общее эмоциональное состояние [4–6].

Эксперименты отечественных и зарубежных исследователей продемонстрировали, что при взаимодействии с ГПИ программ на пользователей воздействуют три типа нагрузок: когнитивная, визуальная и моторная, которые аккумулируются в общую нагрузку ГПИ [7–9].

Помимо нагрузок ПП, также на работоспособность пользователей влияют их биологические и когнитивно-психологические ресурсы, такие как: пол, возраст, уровень компьютерной грамотности (характеристики моделей пользователей), а также внешние факторы (естественная усталость, повышающаяся в течение рабочего дня, шум, окружающий коллектив, особенности трудовой деятельности и т.д.) [10–12].

Целью исследования является проверка степени влияния характеристик пользователей на их работоспособность в ПП, что позволит при подтверждении данного факта учитывать значения характеристик при проектировании, реализации и оценке эффективности программ.

Методы исследования

При исследовании применялись методы статистического анализа с использованием: «U-критерия Манна-Уитни» [13], «поправки Бонферрони» [14], а также методов апостериорных оценок [15] и метода однофакторного дисперсионного анализа [16].

В эксперименте приняли участие 100 чел. (53 мужчины и 47 женщин), в возрастном диапазоне от 18 до 81 года, являющиеся как начинающими пользователями (15 мужчин, 13 женщин), так и профессионалами (13 мужчин, 11 женщин), средний сегмент составил 25 мужчин и 23 женщины.

Суть эксперимента состояла в наблюдении за работой пользователей в текстовом редакторе «Word» в течение восьмичасового рабочего дня (с перерывом в один час на обед), а также фиксации спектра показателей их работоспособности.

Целью эксперимента являлась научная задача по выявлению зависимости изменения работоспособности пользователей от их характеристик (пол G_{en} , возраст A_{ge} , уровень компьютерной грамотности L_{el}), которые требуется преобразовать в коэффициенты для проведения дальнейших расчётов.

Во время эксперимента фиксировались следующие показатели:

- общее количество ошибок N_{mis} ;
- общее количество выполненных заданий в течение рабочего дня N_{task} ;
- время выполнения определённого задания T_{task} (в минутах);

- количество запрошенных перерывов каждым пользователем N_{rest} ;
- суммарная протяжённость перерывов каждого пользователя T_{rest} (в минутах).

Данные заносились в следующую форму (табл. 1).

В табл. 1 номинальные характеристики моделей пользователей представлены в количественном виде так:

- мужской пол (53 чел.) – 1;
- женский пол (47 чел.) – 2;
- возрастной диапазон (17 чел.) от 18 до 22 – 1;
- возрастной диапазон (20 чел.) от 23 до 30 – 2;
- возрастной диапазон (25 чел.) от 31 до 40 – 3;
- возрастной диапазон (16 чел.) от 41 до 50 – 4;
- возрастной диапазон (12 чел.) от 51 до 60 – 5;
- возрастной диапазон от (10 чел.) 61 до 81 – 6;
- начальный уровень компьютерной грамотности (34 чел.) – 1;
- средний уровень компьютерной грамотности (44 чел.) – 2;
- профессиональный уровень компьютерной грамотности (22 чел.) – 3.

Таблица 1

Значения показателей работоспособности пользователей, полученных в течение проведения эксперимента

Идентификатор тестируемого	Gen	Age	L_{el}	N_{mis}	N_{task}	T_{task}	N_{rest}	T_{rest}
1	1	3	1	7	10	34	6	61
2	2	2	3	6	11	36	6	64
3	2	4	3	7	7	31	5	53
4	1	6	3	9	12	38	8	76
5	1	6	1	6	13	35	4	43
6	1	2	1	6	10	31	4	40
7	1	2	2	7	7	41	5	52
8	2	3	2	5	8	45	6	64
9	1	4	2	7	7	32	7	69
10	2	2	2	4	9	36	4	44
11	2	6	2	6	9	32	5	53
12	1	5	2	8	11	38	4	48
13	1	5	2	6	9	35	5	52
14	1	5	1	5	8	40	4	47
15	1	1	2	8	12	41	4	44
...
100	1	1	3	6	7	39	3	39

Результаты исследования и их обсуждение

Имея экспериментальные данные по показателям работоспособности пользователей на первом этапе, произведено их сравнение по двум категориям (мужской и женский пол). Так как количество категорий – две, для сравнения использовался «U-критерий Манна-Уитни», в соответствии с которым выдвигаются две гипотезы [13]:

– $H(0)$ – между категориями мужского и женского пола нет различий по показателям работоспособности;

– $H(1)$ – существуют различия между категориями мужского и женского пола по показателям работоспособности.

Для подтверждения или опровержения гипотез результаты показателей работоспособности пользователей прошли следующую обработку:

- сортировка показателей по возрастанию;
- присвоение каждому показателю ранга;
- вычисление суммы рангов по каждой выборке T_i .

Далее было рассчитано эмпирическое значение «U-критерия Манна-Уитни» по следующей формуле:

$$U = n_1 * n_2 + \frac{n_x * (n_x + 1)}{2} - T_{max},$$

где n_1 – число наблюдений в первой группе; n_2 – число наблюдений во второй группе; n_x – число наблюдений в группе с наибольшей суммой рангов; T_{max} – наибольшая сумма рангов.

В результате проведённых расчётов получены следующие значения, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Результаты вычислений по «U-критерию Манна-Уитни»

Показатели работоспособности	G_{en}	Средний ранг	Сумма рангов	Коэффициенты по показателям k_{gen_i}	U	α
Общее количество ошибок	1	28,78	1525,5	0,62	94,5	0,001
	2	74,99	3524,5	0,38		
Общее количество выполненных заданий в течение рабочего дня	1	70,23	3722	0,58	200	0,001
	2	28,26	1328	0,42		
Время выполнения определённого задания	1	29,88	14,61,5	0,55	152,5	0,001
	2	73,76	3466,5	0,45		
Количество запрошенных перерывов каждым пользователем	1	27,58	1461,5	0,64	30,5	0,001
	2	76,35	3588,5	0,36		
Общая длительность перерывов каждого пользователя	1	37,5	1987	0,57	556,5	0,001
	2	65,16	3062,5	0,43		
Коэффициент работоспособности относительно пола пользователей k_{gen}	1	0,59				
	2	0,41				

После получения результатов проведена проверка значения критерия значимости α следующим образом: если $\alpha \leq 0,05$, то гипотеза $H(0)$ отклоняется, если $\alpha > 0,05$, то гипотеза $H(0)$ принимается. Полученное значение α равно 0,001, тем самым гипотеза $H(0)$ отклоняется и делается вывод о том, что различия между категориями мужского и женского пола по показателям работоспособности существуют. Значение величины различия между мужчинами и женщинами по каждому показателю k_{gen_i} вычислялось относительно среднего ранга, на основе которого получены коэффициенты работоспособности относительно пола пользователей: для мужчин $k_{gen} = 0,59$, для женщин $k_{gen} = 0,41$.

Для вычисления значения коэффициента работоспособности относительно возраста k_{age} использование «U-критерий Манна-Уитни» не применимо, так как количество групп превышает значение 2, поэтому на втором этапе вычислений использовался метод однофакторного дисперсионного анализа [14–16] по каждому показателю отдельно относительно пользователей, принадлежавших ко всем выделенным возрастным группам. Нулевая гипотеза для каждого показателя будет звучать следующим образом: между

значениями показателей нет существенных различий относительно возрастных групп. Альтернативная гипотеза говорит о том, что относительно возрастных групп существуют отличия в значениях показателей.

Для анализа показателя «Общее количество ошибок» использовалась программа «SPSS Statistics» [17] с учётом данных из табл. 1. По результатам вычислений установлено, что усреднённая значимость по Фишеру равна 0,001, что меньше установленного предела 0,05. В связи с этим принимается альтернативная гипотеза, согласно которой относительно возрастных групп существуют отличия в значениях показателей количества ошибок.

С целью определения различий в количестве ошибок между возрастными группами использовались методы апостериорных оценок, которые позволяют проводить межгрупповые сравнения (статистически значимые различия между средними величинами). Используя «поправку Бонферрони», получим следующие значения статистически значимых величин общего количества ошибок (табл. 3).

Отсутствие статистически значимых различий в табл. 3 отмечено жирным шрифтом, то есть их значения малоразличимы по своей значимости между собой.

Таблица 3

Множественные сравнения при использовании поправки Бонферрони относительно количества ошибок в возрастных группах

Возрастная группа	Сравниваемые группы	Средняя разность	Среднекв. ошибка
1	2	-0,76250	0,23610
	3	-1,83250	0,22536
	4	-2,50000	0,24887
	5	-2,72917	0,26881
	6	-3,01250	0,28376
2	1	0,76250	0,23610
	3	-1,07000	0,21118
	4	-1,73750	0,23610
	5	-1,96667	0,25703
	6	-2,25000	0,27263
3	1	1,83250	0,22536
	2	1,07000	0,21118
	4	-0,66750	0,22536
	5	-0,89667	0,24721
	6	-1,18000	0,26338
4	1	2,50000	0,24887
	2	1,73750	0,23610
	3	0,66750	0,22536
	5	-0,22917	0,26881
	6	-0,51250	0,28376
5	1	2,72917	0,26881
	2	1,96667	0,25703
	3	0,89667	0,24721
	4	0,22917	0,26881
	6	-0,28333	0,30140
6	1	3,01250	0,28376
	2	2,25000	0,27263
	3	1,18000	0,26338
	4	0,51250	0,28376
	5	0,28333	0,30140

В табл. 4 помимо расчётных значений представлены величины коэффициентов работоспособности относительно возрастной группы k_{age_1} в аспекте учёта количества допущенных ошибок.

Таблица 4

Расчётные значения характеристик возрастных групп и коэффициента работоспособности в аспекте количества допущенных ошибок

Возрастная группа	Общее количество ошибок		
	среднее	среднеквадратичное отклонение	коэффициентов работоспособности относительно возрастной группы k_{age_1}
1	4,6875	0,47871	0,25
2	5,4500	0,60481	0,22
3	6,5200	0,65320	0,17
4	7,1875	0,91059	0,13
5	7,4167	0,79296	0,12
6	7,7000	0,82327	0,11
Сумма квадратов между группами			104,242
Сумма квадратов внутри групп			46,082
Сумма квадратов общая			150,323
Средний квадрат между группами			20,848
Средний квадрат внутри групп			0,496
Усреднённая значимость по Фишеру			0,001

Далее, по тому же принципу, как и с анализом показателя «Общее количество ошибок», произведены аналогичные манипуляции с остальными показателями.

Так, для показателя «Общее количество выполненных заданий в течение рабочего дня», получены следующие значения (табл. 5, 6).

Таблица 5

Множественные сравнения при использовании поправки Бонферрони относительно количества выполненных заданий в возрастных группах

Возрастная группа	Сравниваемые группы	Средняя разность	Среднекв. ошибка
1	2	0,78750	0,21388
	3	1,82750	0,20415
	4	2,56250	0,22545
	5	3,52083	0,24351
	6	4,78750	0,25705
2	1	-0,78750	0,21388
	3	1,04000	0,19130
	4	1,77500	0,21388
	5	2,73333	0,23284
	6	4,00000	0,24696
3	1	-1,82750	0,20415
	2	-1,04000	0,19130
	4	0,73500	0,20415
	5	1,69333	0,22394
	6	2,96000	0,23859
4	1	-2,56250	0,22545
	2	-1,77500	0,21388
	3	-0,73500	0,20415
	5	0,95833	0,24351
	6	2,22500	0,25705

Возрастная группа	Сравниваемые группы	Средняя разность	Среднекв. ошибка
5	1	-3,52083	0,24351
	2	-2,73333	0,23284
	3	-1,69333	0,22394
	4	-0,95833	0,24351
	6	1,26667	0,27303
6	1	-4,78750	0,25705
	2	-4,00000	0,24696
	3	-2,96000	0,23859
	4	-2,22500	0,25705
	5	-1,26667	0,27303

Таблица 6

**Расчётные значения характеристик возрастных групп
и коэффициента работоспособности в аспекте количества выполненных заданий**

Возрастная группа	Количество выполненных заданий		
	среднее	среднеквадратичное отклонение	коэффициентов работоспособности относительно возрастной группы k_{age_2}
1	8,1875	0,40311	0,22
2	7,4000	0,50262	0,20
3	6,3600	0,63770	0,18
4	5,6250	0,71880	0,16
5	4,6667	0,88763	0,14
6	3,4000	0,69921	0,1
Сумма квадратов между группами			204,368
Сумма квадратов внутри групп			37,814
Сумма квадратов общая			242,182
Средний квадрат между группами			40,874
Средний квадрат внутри групп			0,407
Усреднённая значимость по Фишеру			0,001

Для показателя «Время выполнения определённого задания» получены следующие значения (табл. 7, 8).

Таблица 7

**Множественные сравнения при использовании поправки Бонферрони
относительно времени выполнения определённого задания в возрастных группах**

Возрастная группа	Сравниваемые группы	Средняя разность	Среднекв. ошибка
1	2	-1,82500	0,31574
	3	-4,51500	0,30138
	4	-7,18750	0,33282
	5	-9,45833	0,35949
	6	-11,67500	0,37948
2	1	1,82500	0,31574
	3	-2,69000	0,28241
	4	-5,36250	0,31574
	5	-7,63333	0,34374
	6	-9,85000	0,36459

Возрастная группа	Сравниваемые группы	Средняя разность	Среднекв. ошибка
3	1	4,51500	0,30138
	2	2,69000	0,28241
	4	-2,67250	0,30138
	5	-4,94333	0,33060
	6	-7,16000	0,35223
4	1	7,18750	0,33282
	2	5,36250	0,31574
	3	2,67250	0,30138
	5	-2,27083	0,35949
	6	-4,48750	0,37948
5	1	9,45833	0,35949
	2	7,63333	0,34374
	3	4,94333	0,33060
	4	2,27083	0,35949
	6	-2,21667	0,40307
6	1	11,67500	0,37948
	2	9,85000	0,36459
	3	7,16000	0,35223
	4	4,48750	0,37948
	5	2,21667	0,40307

Таблица 8

Расчётные значения характеристик возрастных групп и коэффициента работоспособности в аспекте времени выполнения определённого задания

Возрастная группа	Время выполнения определённого задания		
	среднее	среднеквадратичное отклонение	коэффициентов работоспособности относительно возрастной группы k_{age_3}
1	37,1250	0,50000	0,185
2	38,9500	0,51042	0,180
3	41,6400	0,95219	0,175
4	44,3125	1,19548	0,160
5	46,5833	0,79296	0,155
6	48,8000	1,61933	0,145
Сумма квадратов между группами			1368,131
Сумма квадратов внутри групп			82,414
Сумма квадратов общая			1450,545
Средний квадрат между группами			273,626
Средний квадрат внутри групп			0,886
Усреднённая значимость по Фишеру			0,001

Для показателя «Суммарная протяжённость перерывов» получены следующие значения (табл. 9, 10).

Таблица 9

**Множественные сравнения при использовании поправки Бонферрони
относительно суммарной протяжённости перерывов в возрастных группах**

Возрастная группа	Сравниваемые группы	Средняя разность	Среднекв. ошибка
1	2	-1,82500	0,31574
	3	-4,51500	0,30138
	4	-7,18750	0,33282
	5	-9,45833	0,35949
	6	-11,67500	0,37948
2	1	1,82500	0,31574
	3	-2,69000	0,28241
	4	-5,36250	0,31574
	5	-7,63333	0,34374
	6	-9,85000	0,36459
3	1	4,51500	0,30138
	2	2,69000	0,28241
	4	-2,67250	0,30138
	5	-4,94333	0,33060
	6	-7,16000	0,35223
4	1	7,18750	0,33282
	2	5,36250	0,31574
	3	2,67250	0,30138
	5	-2,27083	0,35949
	6	-4,48750	0,37948
5	1	9,45833	0,35949
	2	7,63333	0,34374
	3	4,94333	0,33060
	4	2,27083	0,35949
	6	-2,21667	0,40307
6	1	11,67500	0,37948
	2	9,85000	0,36459
	3	7,16000	0,35223
	4	4,48750	0,37948
	5	2,21667	0,40307

Таблица 10

**Расчётные значения характеристик возрастных групп и коэффициента работоспособности
в аспекте суммарной протяжённости перерывов**

Возрастная группа	Суммарная протяжённость перерывов		
	среднее	среднеквадратичное отклонение	коэффициентов работоспособности относительно возрастной группы k_{age_4}
1	37,1250	0,50000	0,185
2	38,9500	0,51042	0,18
3	41,6400	0,95219	0,175
4	44,3125	1,19548	0,16
5	46,5833	0,79296	0,155
6	48,8000	1,61933	0,145
Сумма квадратов между группами			1368,131
Сумма квадратов внутри групп			82,414
Сумма квадратов общая			1450,545
Средний квадрат между группами			273,626
Средний квадрат внутри групп			0,886
Усреднённая значимость по Фишеру			0,001

Для показателя «Количество перерывов» получены следующие значения (табл. 11, 12).

Таблица 11

Множественные сравнения при использовании поправки Бонферрони относительно количества перерывов по каждой возрастной группе

Возрастная группа	Сравниваемые группы	Средняя разность	Среднекв. ошибка
1	2	-1,63750	0,14896
	3	-2,31750	0,14219
	4	-2,43750	0,15702
	5	-3,27083	0,16960
	6	-3,53750	0,17903
2	1	1,63750	0,14896
	3	-0,68000	0,13324
	4	-0,80000	0,14896
	5	-1,63333	0,16217
	6	-1,90000	0,17201
3	1	2,31750	0,14219
	2	0,68000	0,13324
	4	-0,12000	0,14219
	5	-0,95333	0,15597
	6	-1,22000	0,16618
4	1	2,43750	0,15702
	2	0,80000	0,14896
	3	0,12000	0,14219
	5	-0,83333	0,16960
	6	-1,10000	0,17903
5	1	3,27083	0,16960
	2	1,63333	0,16217
	3	0,95333	0,15597
	4	0,83333	0,16960
	6	3,27083	0,16960
6	1	3,53750	0,17903
	2	1,90000	0,17201
	3	1,22000	0,16618
	4	1,10000	0,17903
	5	3,53750	0,17903

Таблица 12

Расчётные значения характеристик возрастных групп и коэффициента работоспособности в аспекте количества перерывов

Возрастная группа	Количество перерывов		
	среднее	среднеквадратичное отклонение	коэффициентов работоспособности относительно возрастной группы k_{age_5}
1	3,5625	0,62915	0,25
2	5,2000	0,41039	0,18
3	5,8800	0,43970	0,16
4	6,0000	0,36515	0,15
5	6,8333	0,38925	0,12
6	7,1000	0,31623	0,11

Возрастная группа	Количество перерывов		
	среднее	среднеквадратичное отклонение	коэффициентов работоспособности относительно возрастной группы k_{age_5}
Сумма квадратов между группами			114,828
Сумма квадратов внутри групп			18,344
Сумма квадратов общая			133,172
Средний квадрат между группами			22,966
Средний квадрат внутри групп			0,197
Усреднённая значимость по Фишеру			0,001

По результатам вычислений для каждого из показателей установлено, что усреднённые значимости по Фишеру равны 0,001, в связи с чем принимаются альтернативные гипотезы, согласно которым относительно возрастных групп существуют отличия: в общем количестве допущенных ошибок; в общем количестве выполненных заданий в течении рабочего дня; во времени выполнения определённого задания; в количестве запрошенных перерывов каждым пользователем; в общей длительности перерывов по каждому пользователю.

Проведя расчёты по каждому показателю отдельно и относительно каждой возрастной группы, автором статьи получены значения коэффициентов работоспособности пользователей относительно каждой выделенной возрастной группы (табл. 13).

Таблица 13

Коэффициенты работоспособности относительно возрастной группы

Возрастная группа	Общее количество ошибок	Количество выполненных заданий	Время выполнения определённого задания	Суммарная протяжённость перерывов	Количество перерывов	Итоговый коэффициент
	k_{age_1}	k_{age_2}	k_{age_3}	k_{age_4}	k_{age_5}	k_{age}
1	0,25	0,22	0,185	0,185	0,25	0,22
2	0,22	0,20	0,18	0,18	0,18	0,19
3	0,17	0,18	0,175	0,175	0,16	0,17
4	0,13	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15
5	0,12	0,14	0,155	0,155	0,12	0,14
6	0,11	0,1	0,145	0,145	0,11	0,12

На третьем этапе для вычисления значений коэффициентов работоспособности относительно уровня компьютерной грамотности k_{int} использовался также метод однофакторного дисперсионного анализа [14–16] по каждому показателю отдельно. Нулевая гипотеза для каждого показателя работоспособности будет звучать следующим образом: относительно уровня компьютерной грамотности пользователей не существует отличий в значениях показателей работоспособности. Альтернативная гипотеза говорит о том, что относительно уровня компьютерной грамотности пользователей существуют отличия в значениях показателей работоспособности.

Так, для анализа показателя «Общее количество ошибок» при использовании программы «SPSS Statistics», с учётом данных из табл. 1, получены следующие значения (табл. 14, 15).

Таблица 14

Множественные сравнения при использовании поправки Бонферрони относительно количества ошибок у пользователей с разной компьютерной грамотностью

Уровень компьютерной грамотности	Сравниваемые уровни компьютерной грамотности	Средняя разность	Среднекв. ошибка
1	2	-1,74419	0,17155
	3	-2,54545	0,20453
2	1	1,74419	0,17155
	3	-0,80127	0,19594
3	1	2,54545	0,20453
	2	0,80127	0,19594

Таблица 15

Расчётные значения характеристик уровня компьютерной грамотности и коэффициента работоспособности в аспекте количества допущенных ошибок

Уровень	Общее количество ошибок		
	среднее	среднеквадратичное отклонение	коэффициентов работоспособности относительно уровня компьютерной грамотности k_{int_1}
1	7,5455	0,80043	0,23
2	6,7442	0,81920	0,31
3	5,0000	0,60302	0,47
Сумма квадратов между группами			100,016
Сумма квадратов внутри групп			53,641
Сумма квадратов общая			153,657
Средний квадрат между группами			50,008
Средний квадрат внутри групп			0,559
Усреднённая значимость по Фишеру			0,001

Для показателя «Количество выполненных заданий» получены следующие значения (табл. 16, 17).

Таблица 16

Множественные сравнения при использовании поправки Бонферрони относительно количества выполненных заданий у пользователей с разной компьютерной грамотностью

Уровень компьютерной грамотности	Сравниваемые уровни компьютерной грамотности	Средняя разность	Среднекв. ошибка
1	2	-0,99248	0,30975
	3	-2,39840	0,36930
2	1	0,99248	0,30975
	3	-1,40592	0,35379
3	1	2,39840	0,36930
	2	1,40592	0,35379

Таблица 17

Расчётные значения характеристик уровня компьютерной грамотности и коэффициента работоспособности в аспекте количества выполненных заданий

Уровень компьютерной грамотности	Количество выполненных заданий		
	среднее	среднеквадратичное отклонение	коэффициентов работоспособности относительно уровня компьютерной грамотности k_{int_2}
1	5,1471	1,35137	0,27
2	6,1395	0,83328	0,32
3	7,5455	2,01724	0,41
Сумма квадратов между группами			76,896
Сумма квадратов внутри групп			174,882
Сумма квадратов общая			251,778
Средний квадрат между группами			38,448
Средний квадрат внутри групп			1,822
Усреднённая значимость по Фишеру			0,001

Для показателя «Время выполнения определённого задания» получены следующие значения (табл. 18, 19).

Таблица 18

Множественные сравнения при использовании поправки Бонферрони относительно времени выполнения определённого задания с разной компьютерной грамотностью

Уровень компьютерной грамотности	Сравниваемые уровни компьютерной грамотности	Средняя разность	Среднекв. ошибка
1	2	1,95896	0,37262
	3	8,69786	0,44426
2	1	-1,95896	0,37262
	3	6,73890	0,42560
3	1	-8,69786	0,44426
	2	-6,73890	0,42560

Таблица 19

Расчётные значения характеристик уровня компьютерной грамотности и коэффициента работоспособности в аспекте времени выполнения определённого задания

Уровень компьютерной грамотности	Количество выполненных заданий		
	среднее	среднеквадратичное отклонение	коэффициентов работоспособности относительно уровня компьютерной грамотности k_{int_3}
1	44,4706	0,99195	0,29
2	42,5116	1,81753	0,34
3	35,7727	1,97440	0,36
Сумма квадратов между группами			1062,215
Сумма квадратов внутри групп			253,078
Сумма квадратов общая			1315,293
Средний квадрат между группами			531,107
Средний квадрат внутри групп			2,636
Усреднённая значимость по Фишеру			0,001

Для показателя «Суммарная протяжённость перерывов» получены следующие значения (табл. 20, 21).

Таблица 20

Множественные сравнения при использовании поправки Бонферрони относительно времени выполнения определённого задания с разной компьютерной грамотностью

Уровень компьютерной грамотности	Сравниваемые уровни компьютерной грамотности	Средняя разность	Среднекв. ошибка
1	2	2,82558	0,59412
	3	3,95455	0,70835
2	1	-2,82558	0,59412
	3	1,12896	0,67860
3	1	-3,95455	0,70835
	2	-1,12896	0,67860

Таблица 21

Расчётные значения характеристик уровня компьютерной грамотности и коэффициента работоспособности в аспекте времени выполнения определённого задания

Уровень компьютерной грамотности	Количество выполненных заданий		
	среднее	среднеквадратичное отклонение	коэффициентов работоспособности относительно уровня компьютерной грамотности k_{int_4}
1	20,5000	2,41523	0,30
2	17,6744	2,70556	0,32
3	16,5455	2,61365	0,37
Сумма квадратов между группами			248,240
Сумма квадратов внутри групп			643,396
Сумма квадратов общая			891,636
Средний квадрат между группами			124,120
Средний квадрат внутри групп			6,702
Усреднённая значимость по Фишеру			0,001

Для показателя «Количество перерывов» получены следующие значения (табл. 22, 23).

Таблица 22

Множественные сравнения при использовании поправки Бонферрони относительно количества перерывов с разной компьютерной грамотностью

Уровень компьютерной грамотности	Сравниваемые уровни компьютерной грамотности	Средняя разность	Среднекв. ошибка
1	2	0,18126	0,28656
	3	1,67914	0,34166
2	1	-0,18126	0,28656
	3	1,49789	0,32731
3	1	-1,67914	0,34166
	2	-1,49789	0,32731

Таблица 23

Расчётные значения характеристик уровня компьютерной грамотности и коэффициента работоспособности в количестве перерывов

Уровень компьютерной грамотности	Количество выполненных заданий		
	среднее	среднеквадратичное отклонение	коэффициентов работоспособности относительно уровня компьютерной грамотности k_{int_5}
1	6,0882	1,52490	0,26
2	5,9070	,64785	0,36
3	4,4091	1,62302	0,37
Сумма квадратов между группами			43,228
Сумма квадратов внутри групп			149,681
Сумма квадратов общая			192,909
Средний квадрат между группами			21,614
Средний квадрат внутри групп			1,559
Усреднённая значимость по Фишеру			0,001

По результатам вычислений каждого из показателей установлено, что усреднённые значимости по Фишеру равны 0,001, в связи с чем принимаются альтернативные гипотезы, согласно которым относительно уровней компьютерной грамотности пользователей существуют отличия: в общем количестве допущенных ошибок; в общем количестве выполненных заданий в течение рабочего дня; во времени выполнения определённого задания; в количестве запрошенных перерывов каждым пользователем; в общей длительности перерывов по каждому пользователю.

Проведя расчёты относительно каждого уровня компьютерной грамотности, автором получены коэффициенты работоспособности пользователей по данному направлению (табл. 24).

Таблица 24

Коэффициенты работоспособности относительно уровня компьютерной грамотности

Уровень компьютерной грамотности	Общее количество ошибок	Количество выполненных заданий	Время выполнения определённого задания	Суммарная протяжённость перерывов	Количество перерывов	Итоговый коэффициент
	k_{int_1}	k_{int_2}	k_{int_3}	k_{int_4}	k_{int_5}	k_{int}
1	0,23	0,27	0,29	0,30	0,26	0,26
2	0,31	0,32	0,34	0,32	0,36	0,32
3	0,47	0,41	0,36	0,37	0,37	0,39

Таким образом, в результате проведённых вычислений получены коэффициенты работоспособности относительно каждого уровня компьютерной грамотности пользователей.

Заключение

На основании полученных данных автором предложены следующие значения коэффициентов работоспособности относительно: пола пользователей k_{gen} , уровня компьютерной грамотности k_{int} и возраста k_{age} (табл. 25).

Коэффициенты работоспособности моделей пользователей

Характеристика модели пользователя	Коэффициент
Пол	k_{gen}
Мужской	0,59
Женский	0,41
Уровень компьютерной грамотности	k_{int}
Начинающий	0,26
Средний	0,32
Профессионал	0,39
Возраст	k_{age}
18–22	0,22
23–30	0,19
31–40	0,17
41–50	0,15
51–60	0,14
61–81	0,12

Также по результатам проведённого эксперимента было выявлено, что:

- профессионалы в компьютерной деятельности как среди мужчин, так и женщин совершают минимальное количество ошибок, выполняя задания в кратчайшие сроки и в максимальном количестве;
- пользователи в возрастном диапазоне от 31–40 лет в преобладающем большинстве являются профессионалами в компьютерной грамотности;
- пользователи мужского пола на 15 % реже делают перерывы, чем женского пола, в связи с чем общее количество выполненных заданий у них выше;
- уровень компьютерной грамотности «начинающий» в 90 % случаев встретился в возрастных диапазонах от 18 до 22 лет и от 61 до 81 года;

Таким образом, научная новизна работы состоит в том, что установлена зависимость уровня работоспособности пользователей от их психофизиологических и когнитивных характеристик. Выявленные закономерности значений оценочных показателей (общее количество ошибок, количество выполненных заданий, время выполнения определённого задания, суммарная протяжённость перерывов, количество перерывов) от категорий пользователей (пол, возрастная группа, уровень компьютерной грамотности) подтвердили целесообразность разработки моделей пользователей для проектирования более качественных ПП и их ГПИ.

Теоретическая значимость полученных в статье результатов заключается в установлении ранее отсутствующих в научной литературе значений коэффициентов работоспособности пользователей относительно их: пола k_{gen} , уровня компьютерной грамотности k_{int} , возраста k_{age} .

С практической точки зрения, полученные значения коэффициентов в дальнейшем могут успешно применяться для оценки эффективности ПП и их ГПИ, что позволит проводить обоснованный выбор наиболее качественного продукта под цели и задачи той или иной организации. Также применение полученных коэффициентов в расчётах позволит увеличить точность результатов вычислений трудозатрат пользователей для преодоления нагрузок ГПИ, что даст возможность прогнозировать работоспособность операторов в течение трудовой смены для оптимального распределения человеческих и временных ресурсов.

Список источников

1. Norman D.A. Living with complexity. The MIT Press, 2010. 308 p.
2. Нильсен Я. Mobile Usability. Как создавать идеально удобные приложения для мобильных устройств. М.: Эскмо, 2013. 256 с.
3. Круг С. Веб-дизайн или «не заставляйте меня думать»! М.: Символ-Плюс, 2008. 216 с.
4. Раскин Д. Интерфейс Новые направления в проектировании компьютерных систем. М.: Символ, 2007. 257 с.
5. Уэйншенк С. 100 главных принципов дизайна. Как удержать внимание СПб.: Питер, 2011. 272 с.
6. Norman D.A. Emotional Design: Why we love (or hate) everyday things // Basic Books. 2005. 272 p.
7. Вострых А.В. Модель описания элементов информационных систем, ориентированных на человеко-машинное взаимодействие // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2021. № 11. С. 23–30.
8. Вострых А.В. Анализ интерфейсов специализированных мобильных приложений для вызова экстренных служб // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2021. № 2 (9). С. 78–82.
9. Матвеев Л.П. Проблема периодизации спортивной тренировки // второе издание М.: Физкультура и спорт, 1965. 243 с.
10. Антропова М.В. Работоспособность учащихся и её динамика в процессе учебной и трудовой деятельности. М.: Просвещение, 1967. 251 с.
11. Зеер Э.Ф. Психология профессионального развития. М.: Академия, 2007. С. 268.
12. Иванова Е.М. Психология профессиональной деятельности: учеб. пособие. М.: ПЕР СЭ, 2006. 309 с.
13. Mann H.B., Whitney D.R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other // Annals of Mathematical Statistics. 1947. № 18. P. 50–60.
14. Бююль А., Цёфель П. SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: пер. с нем. СПб.: «ДиаСофтЮП», 2005. 608 с.
15. Шеффе Г. Дисперсионный анализ. М.: Наука, 1980. 512 с.
16. Наркевич А.Н., Виноградов К.А., Гржибовский А.М. Множественные сравнения в биомедицинских исследованиях: проблема и способы решения // Экология человека. 2020. № 10. С. 55–64.
17. Пациорковский В.В., Пациорковская В.В. SPSS для социологов: учеб. пособие. М.: ИСЭПН РАН, 2005. 433 с.

References

1. Norman D.A. Living with complexity. The MIT Press, 2010. 308 p.
2. Nil'sen Ya. Mobile Usability. Kak sozdat' ideal'no udobnye prilozheniya dlya mobil'nyh ustrojstv. M.: Eskmo, 2013. 256 с.
3. Krug S. Veb-dizajn ili «ne zastavlyajte menya dumat'»! M.: Simvol-Plyus, 2008. 216 s.
4. Raskin D. Interfejs Novye napravleniya v proektirovanii komp'yuternyh sistem. M.: Simvol, 2007. 257 s.
5. Uejnshenk S. 100 glavnyh principov dizajna. Kak uderzhat' vnimanie SPb.: Piter, 2011. 272 s.
6. Norman D.A. Emotional Design: Why we love (or hate) everyday things // Basic Books. 2005. 272 p.
7. Vostryh A.V. Model' opisaniya elementov informacionnyh sistem, orientirovannyh na cheloveko-mashinnoe vzaimodejstvie // Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika. 2021. № 11. S. 23–30.

8. Vostrykh A.V. Analiz interfejsov specializirovannyh mobil'nyh prilozhenij dlya vyzova ekstremnyh sluzhb // Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost': problemy i puti sovershenstvovaniya. 2021. № 2 (9). S. 78–82.
9. Matveev L.P. Problema periodizacii sportivnoj trenirovki // vtoroe izdanie M.: Fizkul'tura i sport, 1965. 243 s.
10. Antropova M.V. Rabotosposobnost' uchashchihsya i eyo dinamika v processe uchebnoj i trudovoj deyatel'nosti. M.: Prosveshchenie, 1967. 251 s.
11. Zeer E.F. Psihologiya professional'nogo razvitiya. M.: Akademiya, 2007. S. 268.
12. Ivanova E.M. Psihologiya professional'noj deyatel'nosti: ucheb. posobie. M.: PER SE, 2006. 309 s.
13. Mann H.B., Whitney D.R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other // Annals of Mathematical Statistics. 1947. № 18. P. 50–60.
14. Бууул' А., Суофел' Р. SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: пер. с нем. SPb.: «DiaSoftYUP», 2005. 608 с.
15. Шеффе Г. Дисперсионный анализ. М.: Наука, 1980. 512 с.
16. Наркевич А.Н., Виноградов К.А., Гржибовский А.М. Множественные сравнения в биомедицинских исследованиях: проблема и способы решения // Экология человека. 2020. № 10. S. 55–64.
17. Paciorkovskij V.V., Paciorkovskaya V.V. SPSS dlya sociologov: ucheb. posobie. M.: ISEPN RAN, 2005. 433 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 25.08.2024; одобрена после рецензирования: 28.09.2024; принята к публикации: 29.09.2024

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 25.08.2024; approved after review: 28.09.2024; accepted for publication: 29.09.2024

Сведения об авторах:

Вострых Алексей Владимирович, старший преподаватель кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: a.vostrykh@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8261-0712>, SPIN-код: 4788-4683

Information about the authors:

Vostrykh Aleksey V., senior lecturer department of applied mathematics and information technology of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: a.vostrykh@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8261-0712>, SPIN: 4788-4683