

УДК 519.2

КОМБИНАТОРНО-ЭРГОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ “ГОРЯЧИХ КЛАВИШ”: ОПТИМИЗАЦИЯ КОМАНДНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Богомолов М.И., студент гр. ПСб-251, I курс
Научный руководитель: Липина Г.А., старший преподаватель
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Современное программное обеспечение характеризуется высокой функциональной насыщенностью, что предъявляет повышенные требования к скорости взаимодействия пользователя с системой. Одним из ключевых инструментов ускорения работы являются «горячие клавиши» — клавиатурные сокращения, позволяющие выполнять команды без обращения к графическому интерфейсу. В профессиональных средах эффективное использование таких сочетаний напрямую влияет на производительность труда.

Проектирование системы клавиатурных сокращений представляет собой комбинаторно-эргономическую задачу. Разработчики стремятся охватить максимальное количество команд, однако каждое новое сочетание должно быть запоминаемым, физически выполнимым и не конфликтовать с существующими. На практике это приводит к тому, что многие потенциально полезные комбинации либо отсутствуют, либо используют неудобные позиции рук.

Актуальность работы обусловлена необходимостью формализации подхода к оценке и выбору «горячих клавиш». Пользователи вынуждены запоминать десятки сочетаний без объективных критериев их удобства, а при разработке программных продуктов отсутствуют методики количественного анализа пространства возможных комбинаций. Целью исследования является применение комбинаторных методов для количественной оценки мощности пространства «горячих клавиш» и выявления критериев эргономически обоснованного выбора сочетаний.

Для количественного анализа систем клавиатурных сокращений необходимо ввести формальное описание структуры «горячих клавиш». Любое сочетание представляет собой упорядоченную последовательность нажатий, состоящую из двух категорий клавиш: клавиш-модификаторов и основной (функциональной) клавиши.

К модификаторам относятся клавиши, которые сами по себе не генерируют команду, но изменяют действие основной клавиши. Стандартный набор модификаторов включает: Ctrl(Control), Alt (Alternate), Shift, а в операционных системах семейства Windows также Win(Windows). На платформе macOS аналогами являются Command (⌘), Option (⌥), Shift и Control.

Основные клавиши — это все остальные клавиши: буквенно-цифровые, цифрового блока, функциональные (F1–F12), а также служебные (Enter, Esc, Delete, Tab, Space, клавиши навигации и др.).

С точки зрения комбинаторики, «горячая клавиша» представляет собой размещение с повторениями, где на первом месте (или в наборе) находятся модификаторы, а завершает комбинацию основная клавиша. Однако более удобной является интерпретация через мощность алфавита модификаторов.

Пусть M — множество модификаторов, $|M| = m$ — их количество. Каждый модификатор может либо присутствовать в комбинации, либо отсутствовать. Тогда общее количество различных наборов модификаторов (включая пустой набор) равно 2^m . Однако на практике комбинация, состоящая только из основной клавиши без модификаторов, либо уже занята вводом символа, либо не рассматривается как «горячая клавиша» в узком смысле. Поэтому из общего числа наборов исключается пустой.

Далее, пусть K — множество основных клавиш, $|K| = k$ — их количество. Каждая основная клавиша может сочетаться с любым непустым набором модификаторов. Таким образом, общее число возможных комбинаций N вычисляется по формуле:

$$N = (2^m - 1) \cdot k$$

Рассмотрим стандартную раскладку клавиатуры РС. Количество основных клавиш, потенциально пригодных для назначения команд, составляет $k \approx 80$ –90 (26 буквенных, 10 цифровых, 12 функциональных, около 20–30 служебных). Количество модификаторов $m = 4$ (Ctrl, Alt, Shift, Win). Подставляя значения, получаем:

$$N = (2^4 - 1) \cdot 80 = 1200$$

Таким образом, теоретически возможное количество «горячих клавиш» на стандартной клавиатуре составляет порядка 1200 сочетаний. Если учитывать возможность использования двух и более основных клавиш (например, Ctrl+K+C), пространство расширяется, однако такие комбинации редко применяются из-за сложности выполнения и запоминания.

Для наглядности в таблице 1 представлены значения N для различных конфигураций.

Таблица 1 — Количество возможных сочетаний «горячих клавиш» в зависимости от числа модификаторов и основных клавиш

Количество модификаторов m	Количество непустых наборов $(2^m - 1)$	Основных клавиш $k = 50$	Основных клавиш $k = 80$	Основных клавиш $k = 100$
2 (Ctrl, Alt)	3	150	240	300
3 (Ctrl, Alt, Shift)	7	350	560	700
4 (стандартный набор)	15	750	1200	1500

5 (с дополнительным)	31	1550	2480	3100
----------------------	----	------	------	------

Полученные данные демонстрируют, что пространство возможных сочетаний многократно превышает реальные потребности пользователя. Даже при консервативной оценке ($m = 4$, $k = 80$) существует более тысячи потенциальных комбинаций, тогда как типичный пользователь активно использует не более 20–30, а профессиональный — до 100–150. Это указывает на наличие значительного резерва для проектирования эргономически обоснованных систем «горячих клавиш».

Полученное в предыдущем разделе теоретическое значение $N \approx 1200$ отражает лишь верхнюю границу пространства «горячих клавиш» без учета факторов, снижающих реальное количество практически применимых сочетаний. Для построения адекватной модели необходимо ввести два типа ограничений: физические и эргономические.

Физические ограничения связаны с анатомическими возможностями человека и конструктивными особенностями клавиатуры. Во-первых, количество одновременно нажимаемых клавиш ограничено. Большинство стандартных клавиатур поддерживают одновременное нажатие не более 6–8 клавиш (функция *n-key rollover*), однако для комбинаций с модификаторами комфортный порог составляет 3–4 клавиши (например *Ctrl+Alt+Shift+Delete*). Сочетания, требующие нажатия двух удаленных клавиш одной рукой, либо вовсе невыполнимы, либо приводят к неестественному положению кисти.

Во-вторых, некоторые сочетания могут быть «зарезервированы» на системном уровне. Например, комбинации *Ctrl+Alt+Delete* в ОС Windows, *Ctrl+Shift+Esc* и другие имеют фиксированное назначение и не могут быть переименованы без изменения системных настроек.

Эргономические ограничения учитывают удобство выполнения комбинации и ее запоминаемость. Ключевыми критериями выступают:

1. Позиция рук. Наиболее удобными считаются комбинации, где все клавиши находятся в зоне базовой позиции рук (ряды *ASDF* и *JKL;*). Использование клавиш, расположенных на периферии (например, *F1–F12* без модификаторов), требует перемещения кисти и увеличивает время реакции.

2. Симметричность. Предпочтительны комбинации, распределенные между двумя руками: модификаторы нажимаются одной рукой, основная клавиша — другой. Например, *Ctrl+C* (левая рука — *Ctrl*, правая — *C*) выполняется быстрее, чем *Ctrl+Alt+D*, где все клавиши расположены в левой части клавиатуры.

3. Конфликт с вводом текста. Комбинации, задействующие буквенные клавиши без модификаторов, не могут использоваться как «горячие клавиши», поскольку они заняты вводом символов. Это сужает пространство практически реализуемых сочетаний.

4. Мнемоничность. Назначение команды должно ассоциироваться с ее названием. Например, *Ctrl+S* (Save), *Ctrl+C* (Copy), *Ctrl+V* (Paste). Наруше-

ние этого принципа снижает скорость запоминания и повышает вероятность ошибок.

С учетом перечисленных ограничений реальное количество удобных и практически применимых сочетаний сокращается с теоретических 1200 до 100–200. Именно это множество представляет интерес для пользователя и разработчика при проектировании персонализированной системы «горячих клавиш».

На основе комбинаторной модели, проведем количественную оценку реального пространства «горячих клавиш», доступного для практического использования. Для этого введем несколько уровней отбора, каждый из которых сужает множество возможных комбинаций.

Уровень 1. Теоретический максимум

При стандартной конфигурации ($m = 4$ модификатора, $k = 80$ основных клавиш) общее число сочетаний составляет:

$$N_{теор} = (2^4 - 1) \cdot 80 = 1200$$

Уровень 2. Учет системных резервирований

Часть сочетаний зарезервирована операционной системой или драйверами оборудования и не может быть переназначена. К таким относятся:

- *Ctrl+Alt+Delete*
- *Ctrl+Shift+Esc*
- *Alt+F4*
- *Win+R*, *Win+E*, *Win+D* и другие системные комбинации

Количество системных сочетаний составляет приблизительно 20–30. Вычитая их, получаем:

$$N_{сист} \approx 1200 - 25 = 1175$$

Уровень 3. Исключение неудобных позиций

Эргономический анализ позволяет исключить комбинации, требующие:

- нажатия клавиш, расположенных на расстоянии более 15 см друг от друга;

- использования одной руки для трех и более клавиш одновременно;
- неестественного изгиба кисти.

По экспертным оценкам, к категории «неудобных» относится около 40–50 % всех сочетаний, особенно тех, где задействованы функциональные клавиши *F1–F12* без модификаторов или комбинации с правым *Alt* и левым *Ctrl* одновременно.

$$N_{удоб} \approx 1175 \cdot 0,5 = 587$$

Уровень 4. Ограничение буквенно-цифровыми клавишами

На практике большинство пользователей предпочитают назначать команды на буквенно-цифровые клавиши, так как они находятся в зоне базовой позиции рук и легко запоминаются. Если ограничить основные клавиши только алфавитно-цифровым блоком (26 букв + 10 цифр = 36 клавиш), то:

$$N_{алф} = 15 \cdot 36 = 540$$

С учетом эргономической фильтрации (уровень 3):

$$N_{\text{алф-удоб}} \approx 540 \cdot 0,5 = 270$$

Уровень 5. Учет мнемоничности

Наиболее ценными с точки зрения запоминаемости являются комбинации, где первая буква команды совпадает с основной клавишей (например, *Ctrl+S* для Save, *Ctrl+P* для Print). Таких сочетаний в английской раскладке — 26 (по числу букв). При использовании двух модификаторов (например, *Ctrl+Shift+S*) количество мнемонически связанных вариантов расширяется, но остается в пределах 100–150.

Таким образом, реальное пространство активно используемых и эргономически обоснованных «горячих клавиш» составляет от 100 до 300 сочетаний, что значительно меньше теоретического максимума, но по-прежнему превышает потребности типичного пользователя.

Таблица 2 — Сокращение пространства «горячих клавиш» на различных этапах отбора

Этап фильтрации	Количество сочетаний	Примечание
Теоретический максимум	1200	$m = 4, k = 80$
После исключения системных	≈ 1175	–25 системных комбинаций
После эргономической фильтрации	≈ 587	исключено ~ 50 % неудобных
При ограничении алфавитно-цифровыми	540	$k = 36$
Алфавитно-цифровые + эргономика	≈ 270	оптимальный баланс
Мнемонические приоритеты	100–150	практически значимое множество

Представленные данные позволяют сделать вывод о том, что при проектировании системы «горячих клавиш» нет необходимости стремиться к использованию всех теоретически возможных сочетаний. Достаточно выделить подмножество из 100–150 комбинаций, удовлетворяющих критериям удобства, запоминаемости и отсутствия конфликтов. Это обеспечивает высокую эффективность работы без избыточного усложнения интерфейса.

На основе проведенного анализа можно сформулировать несколько принципов формирования оптимального набора «горячих клавиш».

Принцип 1. Приоритет базовой позиции. Наиболее удобны комбинации, где основная клавиша находится в рядах *ASDF* или *JKL*;, а модификаторы нажимаются противоположной рукой. Это позволяет выполнять команды без перемещения кистей.

Принцип 2. Категоризация модификаторов. Целесообразно закрепить за модификаторами функциональные категории: *Ctrl* — редактирование, *Alt*

— навигация, *Shift* — модификация, *Win* — системные команды. Это упрощает запоминание.

Принцип 3. Мнемоничность. Основная клавиша должна ассоциироваться с названием команды (*S* — Save, *O* — Open). Нарушение этого принципа увеличивает время запоминания.

Принцип 4. Иерархия частоты. Частые команды получают простые сочетания (один модификатор), редкие — более сложные (два-три модификатора).

Принцип 5. Избегание конфликтов. Необходимо исключать пересечения с системными сочетаниями и стандартными назначениями приложений.

Применение этих принципов позволяет из теоретического множества в 1200 комбинаций выделить практически значимое подмножество из 100–150 сочетаний, достаточное для эффективной работы.

В ходе исследования получены следующие результаты:

1. Разработана комбинаторная модель оценки пространства «горячих клавиш». Для стандартной клавиатуры с четырьмя модификаторами и 80 основными клавишами теоретический максимум составляет $N_{теор} = (2^4 - 1) \cdot 80 = 1200$ сочетаний.

2. Выявлены физические, системные и эргономические ограничения, сокращающие реальное количество применимых комбинаций до 100–300.

3. Сформулированы принципы оптимизации выбора сочетаний: приоритет базовой позиции, категоризация модификаторов, мнемоничность, иерархия частоты использования, избегание конфликтов.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения полученных результатов при разработке программных интерфейсов и настройке персонализированных пользовательских сред.