



ПРЕРЫВАНИЯ В КОМПЬЮТЕРИЗОВАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: СТРАТЕГИИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ МЕЖДУ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЗАДАЧАМИ¹

ЛЕОНОВА А. Б., *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

БЛИННИКОВА И. В., *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

ВЕЛИЧКОВСКИЙ Б. Б., *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

КАПИЦА М. С., *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

В статье представлены результаты трех экспериментов по исследованию выполнения компьютеризованных задач в условиях прерываний и вынужденных переключений. Показано, что рост сложности прерываний сопровождается перестройкой структуры деятельности и глубинными изменениями функционального состояния человека-оператора. Выявлены два типа когнитивно-поведенческих стратегий переключений между задачами в ходе обработки прерывания – реактивный и проактивный. Реактивные стратегии характеризуются мгновенным переключением с основного на дополнительное задание и опираются на использование нестабильных репрезентаций экспериментальных заданий, хранящихся в рабочей памяти. Проактивные стратегии связаны с интенсивной поведенческой и когнитивной активностью по подготовке переключений и опираются на использование устойчивых к интерференции ментальных репрезентаций основного задания, сохраняемых в долговременной памяти.

Ключевые слова: прерывания, вынужденные переключения, временная динамика переключений, когнитивные стратегии, компьютеризованная деятельность, движения глаз.

Введение

Одна из первых попыток исследования влияния прерываний на деятельность человека была предпринята в работах школы К. Левина в конце 20-х годов XX века. Известные эксперименты Б. В. Зейгарник (Zeigarnik, 1927), М. А. Овсянкиной (Ovsiankina, 1928) и Г. В. Биренбаум (Birenbaum, 1930) продемонстрировали, что прерывания меняют характер протекания когнитивных и эмоциональных процессов (см.: Левин, 2001). Исследования прерываний были продолжены в конце 60-х годов и сместились в область анализа ошибок и сбоев, возникающих в процессе работы, а также стратегий преодоления или «обработки» прерываний. Количество работ в этой предметной области с каждым годом увеличивается. Они играют существенную роль в понимании механизмов регуляции сложных видов деятельности и выявлении структуры ресурсов, обеспечивающих ее выполнение.

Прерывание можно определить как событие, которое нарушает процесс выполнения трудовой деятельности и приводит к ее прекращению, приостановке или переключению на другую задачу. Б. О'Коннел и Д. Фролих (O'Connell, Frohlich, 1995) анализировали трудовую деятельность офисных служащих и обнаружили, что в среднем она прерывается четы-

¹ Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 08-06-00284а.



ре раза в течение часа. В работе М. Червински, Э. Хорвица и С. Уилхайт (Czerwinski, Horvitz, Wilhite, 2004) было показано, что на каждую задачу, выполняемую в компьютеризованной профессиональной деятельности, приходится приблизительно по 0,7 прерываний. Большинство участников исследования, среди которых были офисные служащие, менеджеры и программисты, оценивали прерывания как события, хотя и отнимающие время, но не наносящие серьезного ущерба работе. Тем не менее, полученные данные свидетельствовали о том, что в 40 % случаев прерванная задача не возобновляется сразу после прерывания.

К более серьезным последствиям прерывания могут приводить в трудовой деятельности, связанной с риском и опасностью для жизни. Это было показано на примере ошибок, допускаявшихся летчиками (Dismukes, Young, Sumwalt, 1998). Прерывания их деятельности часто являлись причиной аварий и серьезных летных происшествий. В другом исследовании (Osga, 2000) был обнаружен негативный эффект прерываний на процесс выполнения задач операторами сложной военной техники на кораблях ВМФ США. Многие авторы отмечают, что в условиях прерываний происходит не только снижение эффективности выполнения профессиональных задач и увеличение количества ошибочных действий, но и существенное ухудшение эмоционального состояния (Bailey, Constan, Carlis, 2000).

Достаточно большое число работ было посвящено изучению отдельных эффектов прерываний в лабораторных условиях. Т. Джили и Дж. Бродбент (Gillie, Broadbent, 1989) провели серию экспериментов, направленных на выяснение факторов, определяющих степень негативного влияния прерываний на выполнение компьютеризованной задачи. Они варьировали продолжительность и сложность прерывающих заданий, а также их сходство с основной задачей. Было показано, что влияние прерываний определяется сходством параллельно выполняемых задач: чем более похожи задачи, тем труднее испытуемому выполнять их одновременно или переключаться с одной на другую. Д. МакФарлейн (McFarlane, 1999) обнаружил, что эффективность работы испытуемого определяется произвольностью выбора момента переключения с одной задачи на другую: если испытуемому предоставляется возможность самому определять момент переключения, это положительно влияет на общую результативность деятельности. В других работах (Cutrell, Czerwinski, Horvitz, 2001; Botvinick, Bylsma, 2005) было продемонстрировано, что большое значение имеет локализация прерывания в структуре деятельности: чем ближе к началу первой задачи вводится дополнительная, тем легче проходит переключение. Данные, полученные Б. Бэйли, Дж. Константом и Дж. Карлисом (Bailey, Constan, Carlis, 2000), показали, что эффект прерываний во многом определяется когнитивной нагрузкой на операторов.

Таким образом, в большинстве исследований демонстрируется, что прерывания вносят искажения в выполнение профессиональных задач и часто являются критическим фактором для формирования негативных функциональных состояний человека. Возвращение к основной деятельности требует определенного усилия и повышает уровень активации и ментальной нагрузки. Для снижения разрушающего эффекта прерываний необходимо понять механизмы принятия решений и переработки информации, а также выявить когнитивные и исполнительные стратегии, обеспечивающие выполнение основной и дополнительной задачи.

В серии исследований, проведенных в лаборатории психологии труда МГУ им. М. В. Ломоносова, изучались разнородные эффекты прерываний на компьютеризованную деятельность с использованием структурно-интегративного подхода для анализа



стратегий перехода к прерывающим задачам, их выполнения и возвращения к прерванной операции и восстановления контекста основной деятельности (Леонова, Блинникова, Капица, 2004; Leonova, 2003; Kapitsa, Blinnikova, 2003). В лабораторных условиях моделировалась реальная деятельность по редактированию научных текстов. Эта деятельность всегда рассматривалась как основная для участников исследования. Кроме этого они должны были выполнять дополнительные поручения экспериментатора. Таким образом, выполнение основной задачи в ряде условий прерывалось, вводились дополнительные задачи, после завершения которых испытуемые должны были возвращаться к прерванной деятельности. Для контроля и управления эксперимента была разработана специальная установка, позволяющая исследователю наблюдать за работой испытуемого и точно выбирать момент прерывания основной деятельности и ввода дополнительной задачи. Экспериментатор находился в другом помещении. Ему на видеомонитор подавался микшированный видеосигнал, сочетающий изображение испытуемого с видеокамеры и «картинку» с дисплея испытуемого (для получения последней использовался скан-конвертер). Микшированный видеосигнал, дополненный временным кодом (точность которого составляла 0,1 сек), записывался на видеоманитфон. С каждым испытуемым до и после экспериментальных сессий проводилось тестирование по набору диагностических методик, включающих оценку субъективного состояния, когнитивных показателей, индивидуальных особенностей, таких как темпераментальные характеристики и когнитивные стили.

Эксперимент 1

В первом эксперименте исследовалось влияние факторов (1) наличия прерываний и (2) сложности прерывающей задачи на характеристики исполнительной и когнитивной деятельности и состояния испытуемых. Использовались два типа прерывающих задач: простая (требующая немного времени для своего исполнения и иррелевантная по содержанию основной задачи) и сложная (занимающая существенно больше времени и близкая по типу к основному заданию). Дополнительная задача могла вводиться либо в момент переноса абзаца (когда текст забирался в «карман»), либо в момент ввпечатывания абзаца. Тип прерываемой операции являлся дополнительным исследуемым фактором.

1.1. Методика. 31 сотрудник МГУ им. М. В. Ломоносова (11 женщин и 20 мужчин в возрасте от 17 до 38 лет) приняли участие в исследовании в качестве испытуемых. Участники эксперимента работали в условиях, моделирующих обычную офисную среду. Эксперименты с каждым испытуемым включали четыре экспериментальных сессии по две сессии в отдельный экспериментальный день. Экспериментальные сессии состояли в выполнении основного задания с варьированием условий по двум независимым переменным: «наличие прерываний» на двух уровнях – (1) отсутствие прерываний и (2) предъявление двух прерываний в течение одной сессии; «сложность прерываний» на двух уровнях – (1) простое и (2) сложное прерывание. В каждый экспериментальный день испытуемый выполнял одну сессию с условием «без прерываний» и одну сессию с «простым» или «сложным» прерыванием. Порядок предъявления сессий с разными экспериментальными условиями был рандомизирован для каждого испытуемого, обеспечивая тем самым реализацию полностью сбалансированного плана эксперимента для всей выборки испытуемых.

Основное задание, выполняемое в каждой экспериментальной сессии, состояло в редактировании на компьютере научного текста среднего уровня сложности (объемом



до 16 000 знаков), включающего такие стандартные операции как перенесение фрагментов текста, внесение сделанных вручную исправлений, форматирование страниц по заданному образцу и др. Время выполнения основного задания не ограничивалось и составляло в среднем 45–50 мин. В половине экспериментальных сессий выполнение основного задания прерывалось телефонным звонком от экспериментатора, находящегося в соседней комнате, который просил испытуемого срочно выполнить дополнительную задачу (прерывающее задание). Использовались два типа прерывающих заданий разного уровня сложности: простое прерывание состояло в просьбе найти в телефонной книге или в справочнике информацию, иррелевантную по содержанию основной задаче, – телефон или адрес сотрудника, год выпуска определенного издания и т. п.; сложное прерывание предполагало переключение испытуемого на выполнение другой задачи, близкой по типу к основному заданию, – внесения вручную небольших исправлений в короткий текст, распечатанный на бумаге.

После выполнения прерывающего задания испытуемый должен был вернуться к выполнению основной работы и закончить ее. На основании анализа видеорегистрации в каждой экспериментальной сессии определялись показатели качества исполнения основного задания (общее количество ошибок, количество пропусков и неправильных действий) и временные параметры его выполнения (общее время работы, время выполнения основного задания, время выполнения прерывающих заданий), а также измерялось время перехода от одной задачи к другой. Все участники исследования проходили короткую тренировочную сессию и выполняли психологические тесты в начале и конце каждой экспериментальной сессии. При этом определялись показатели уровня психофизиологической активации и величины затрачиваемых внутренних усилий, которые оценивались с помощью методики КЧСМ и шкалы RSME; показатели субъективного комфорта/дискомфорта текущего состояния и степени эмоциональной напряженности, полученные с помощью методик «Шкала состояний» и «Шкала ситуативной тревожности» Ч. Д. Спилбергера; показатели эффективности когнитивного функционирования, полученные на основе использования микроструктурных тестов «Оперативная память» и «Распределение объема внимания», включающие индексы точности, скорости и доминирующей стратегии обработки информации (Леонова, Капица, 2003).

1.2. Результаты. Статистический анализ позволил выявить влияние обеих независимых переменных (наличие прерывания и сложность прерывания) на различные качественные и количественные параметры деятельности. В сериях с прерыванием наблюдалось значимое возрастание общего времени работы ($F = 4,74; p = 0,03$), хотя время выполнения основного задания не изменялось. Было обнаружено также незначительное увеличение количества ошибок ($F = 2,9; p = 0,09$) и количества основных исполнительных действий по редактированию текста ($F = 4,8; p = 0,03$). Это говорит о том, что испытуемые в условиях прерываний не снижают скорость работы, но делают это за счет снижения качества и интенсификации деятельности.

Сложность прерывающей задачи также влияла на качество работы испытуемого, увеличение общего времени и количества основных исполнительных действий. Особый интерес представляет значимое увеличение времени возврата к основной задаче после сложного прерывания ($F = 4,3; p = 0,04$). Можно предположить, что в условиях коротких простых прерываний испытуемые не выходят из контекста выполнения основной задачи и поэтому быстро к ней возвращаются (рис. 1). Сложные дополнительные задачи, требующие больше времени для выполнения, заставляют испытуемых выходить из контекста выполнения ос-



нового задания и затрачивать больше времени на его возобновление. Возможно, что это дополнительное время необходимо для некоторой переориентации в основном задании.

Один из наиболее интересных результатов дает анализ ошибок, допущенных испытуемыми в первом эксперименте при выполнении основного задания. Оказалось, что чем сложнее была дополнительная задача, тем меньше ошибок делали испытуемые: при сложной прерывающей задаче испытуемые делали в среднем 5,9 ошибок, а при простой – 7,3 (различия значимы; $F(1,30) = 2,5; p < 0,1$). Это свидетельствовало о том, что качество выполнения основной задачи не ухудшалось, а даже несколько улучшалось. Такой результат достаточно парадоксален. Изначально мы предполагали, что более сложная прерывающая задача приводит к более значительному негативному эффекту, но в данном случае это не подтверждалось. Это могло получить объяснение, если допускалось использование испытуемыми разных стратегий при простом и сложном прерывании, что и подтвердилось при более тщательном анализе данных. Когда основное задание прерывается сложной задачей, испытуемый вынужден переходить к осознаваемым стратегиям регулирования деятельности. Он вынужден планировать выполнение дополнительной задачи и возвращение к основной, выполняет задачи строго последовательно, контролируя переход между ними. Другая картина наблюдается в ситуациях простого прерывающего задания. Здесь возможно частично совмещенное параллельное выполнение двух задач. Происходит интенсификация деятельности, возрастают напряжение и скорость исполнительных операций. На этом фоне снижается качество выполнения, испытуемые допускают больше ошибок.

Изучение видеозаписей и выявление последовательности действий испытуемых в условиях прерываний позволило описать пять поведенческих стратегий. При использовании первой стратегии испытуемый сразу реагировал на звонок, прерывая выполнение основного задания, выслушивал инструкции экспериментатора, клал трубку и приступал к дополнительной задаче. Вторая стратегия отличалась отсроченной реакцией испытуемого на телефонный звонок, испытуемый предпочитал доделать начатую операцию и лишь затем снять трубку. Третья стратегия предполагала одновременное выполнение двух действий: испытуемый сразу же снимал трубку, но продолжал редактировать текст, слушая инструкции. Четвертая стратегия представляла сочетание второй и третьей: испытуемый не сразу снимал трубку и даже когда делал это, продолжал выполнять основное задание. Пятая стратегия встречалась реже всего: услышав звонок, испытуемый брал трубку, выслушивал экспериментатора, клал трубку на место, продолжал выполнять основное задание до определенного момента, наименее критичного для прерывания, и лишь затем переходил к выполнению дополнительной задачи. Была подсчитана частота выбора той или иной стратегии в зависимости от сложности прерываемой операции (рис. 2). Показано, что в зависимости от сложности прерываемой операции испытуемые использовали разные поведенческие стратегии.

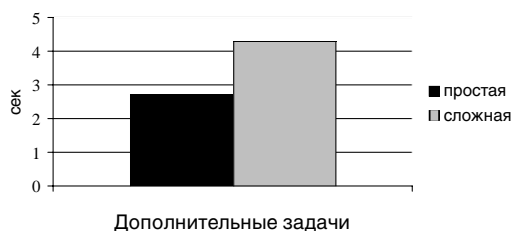


Рис. 1. Время возвращения к основному заданию после выполнения прерывающих задач разной сложности

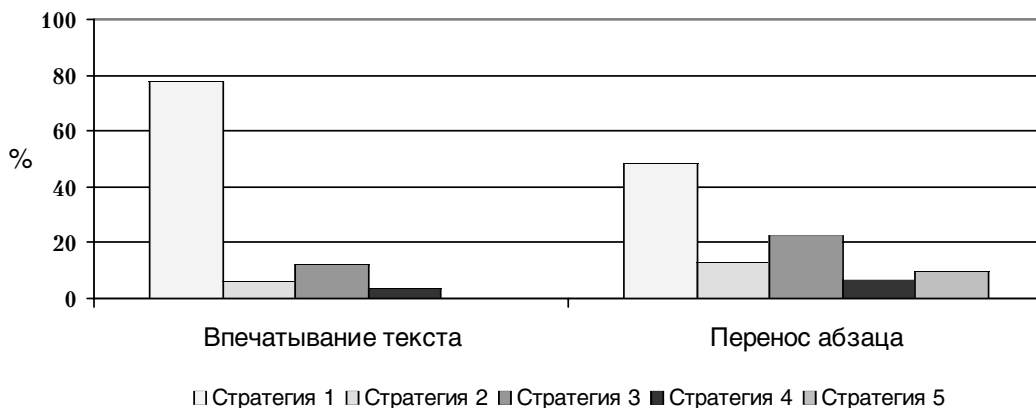


Рис. 2. Частота выбора стратегии в зависимости от типа прерываемой операции

Если звонок экспериментатора раздавался во время впечатывания текста, испытуемые в подавляющем большинстве случаев (78,1 %) использовали прямую моментальную стратегию 1, действуя непосредственно под влиянием внешних факторов. Эта стратегия гораздо реже использовалась при прерывании более сложной операции «переноса абзаца» (48,4 %). В этом случае испытуемые чаще предпочитали «отложенные стратегии» (стратегии 2–5), при которых прерываемая операция завершалась до начала выполнения дополнительной задачи. Это свидетельствовало о существовании этапа предваряющего планирования и использования осознанных медленных стратегий выполнения деятельности.

Уровень психофизиологической активации (индекс КЧСМ) и степень умственного усилия и уровень ментального усилия (индекс шкалы RSME) значимо не менялись под влиянием фактора «наличия прерывания», в то же время они возрастали при усложнении прерываемой задачи. Индекс «эмоциональной напряженности» оказался более чувствительным к влиянию как фактора наличия ($F(1,30) = 2,79; p < 0,10$), так и фактора сложности ($F(1,30) = 5,79; p < 0,05$) прерывания. Показатели когнитивного функционирования демонстрировали разнонаправленную динамику в разных экспериментальных условиях: в условиях наличия прерывания скорость переработки информации возрастала ($F(1,30) = 5,03; p < 0,05$); доминировала стратегия параллельной обработки ($F(1,30) = 5,13; p < 0,01$); при сложных прерывающих задачах точность информационной переработки в рабочей памяти снижалась ($F(1,30) = 4,51; p < 0,05$), а тенденция к параллельной переработке усиливалась ($F(1,30) = 4,79; p < 0,05$). Разнообразие эффектов прерывания может быть объяснено тем, что в процессе выполнения основной задачи в зависимости от ситуации участвуют разные компенсаторные механизмы, которые могут быть рассмотрены как стратегии обработки прерываний.

Эксперимент 2

Цель эксперимента 2 состояла в подтверждении и развитии результатов эксперимента 1. Мы предположили, что этот фактор сложности прерванной операции оказывает существенное влияние не только на поведение, но и на эффективность когнитивного функционирования и субъективное состояние (1). Было показано (2), что эффекты прерываний не



только ухудшают выполнение основной задачи, но также при определенных условиях могут играть и позитивную роль, оказывая мобилизующее и активизирующее воздействие на испытуемых. Возможно, что в нашем первом эксперименте такое воздействие было связано с каналом прерывания – телефонным звонком. Именно поэтому во втором эксперименте мы поставили задачу сравнить два канала введения прерываний – телефонный звонок и электронную систему сообщений ICQ. Результаты первого эксперимента позволили выделить время возвращения к основному заданию после выполнения дополнительной задачи как чрезвычайно значимый показатель (3). Этот индекс позволяет выявлять характеристики используемых стратегий.

2.1. Методика. 25 студентов московских университетов (19 женщин и 6 мужчин в возрасте от 19 до 22 лет), имеющих разный опыт владения компьютером, однако постоянно использующих программу Microsoft Word, приняли участие в исследовании в качестве испытуемых. Эксперимент состоял из трех сессий. Испытуемый последовательно редактировал три научных текста, что составляло для него основное задание. Все тексты были среднего уровня сложности. Испытуемые работали на экспериментальной установке, которая использовалась в первом эксперименте. Экспериментальные сессии отличались по наличию/отсутствию прерываний (одна сессия всегда была без прерываний), и каналу введения прерывающей задачи: в одной сессии испытуемый прерывался только по телефону, в другой – только по ICQ (фактор «канал прерывания»). Порядок сессий варьировался от испытуемого к испытуемому.

Основное задание по редактированию включало исправление орфографических ошибок, форматирование, в печатьвание отдельных фрагментов и перенос абзацев с одной страницы на другую. Дополнительные задачи вводились при выполнении двух разных операций: в печатьвание фрагмента или перенос абзаца (фактор «сложность операции»). Последняя операция была существенно сложнее с точки зрения когнитивной нагрузки. Испытуемого прерывали как раз в тот момент, когда абзац исчезал из поля зрения. Также варьировался фактор «сложность дополнительной задачи». Простая задача состояла в использовании опции «Статистика» в основном меню MS Word, испытуемый должен был определить количество знаков (слов, строк) в редактируемом тексте. Эта задача занимала небольшое количество времени и не требовала от испытуемого покидать контекст основного задания. Сложная дополнительная задача состояла в поиске библиографических сведений в списке литературы, размещенном в другом окне. Она занимала существенно больше времени и требовала от испытуемого покинуть контекст выполнения основного задания.

Полученные данные были проанализированы с помощью многофакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями по схеме 2x2x2. Варьировались три фактора: канал введения прерывания (телефон, ICQ); прерываемая операция (в печатьвание, перенос); сложность прерывания (подсчет статистики по тексту, работа с библиографией). Все факторы были внутрисубъектными. В качестве зависимых переменных анализировались различные временные интервалы, связанные с обработкой прерывания испытуемыми, – время переключения на дополнительную задачу, время выполнения дополнительной задачи и время возврата к основному заданию. Время переключения определяется как временной промежуток между поступлением сигнала прерывания (триггера) и началом выполнения дополнительной задачи («цена переключения»). Время возврата определяется как временной промежуток между завершением выполнения дополнительной задачи и возоб-



новлением выполнения операций в основном задании («цена возвращения»). Времена, полученные при редактировании разных текстов, усреднялись.

2.2. Результаты. Главные эффекты фактора «сложность прерываемой операции» существенно различаются для разных временных интервалов. Для времени переключения этот эффект отсутствует ($F(1,24) = 1,49, p > 0,05$), для времени выполнения дополнительного задания он значим ($F(1,24) = 6,56, p < 0,001$), причем в случае прерывания в печатывания текста испытуемые в среднем обрабатывают прерывание примерно на 10 с дольше (32,9 с против 43,4 с). Для времени возврата снова обнаруживаются заметные различия между простой и сложной прерываемыми операциями ($F(1,24) = 26,4, p < 0,001$) – возвращение к печатыванию текста в среднем требует в два раза меньше времени, чем возвращение к переносу абзаца (7,7 с против 15,8 с). Главные эффекты фактора «сложность дополнительной задачи» обнаруживают похожую картину. Для времени переключения главный эффект отсутствует ($F(1,24) = 0,07, p > 0,05$), что не позволяет обнаружить значимые различия во времени «перехода» к простой и к сложной дополнительной задаче. Для времени выполнения дополнительного задания существует резко выраженный главный эффект ($F(1,24) = 162,1, p < 0,001$), связанный с природой дополнительной задачи – сложная дополнительная задача требует для своего выполнения почти в четыре раза больше времени (в среднем 60,6 с против 15,7 с). Для времени возврата наблюдаются различия между простой и сложной дополнительной задачей ($F(1,24) = 6,4, p < 0,05$) – после простой задачи испытуемые быстрее возобновляют работу в основном задании (9,7 с против 13,8 с).

Наиболее интересные эффекты были получены при анализе взаимодействия между сложностью дополнительной задачи и типом прерываемой операции. Оно оказалось значимым для переменных время переключения ($F(1,24) = 11,1, p < 0,01$) и время выполнения дополнительного задания ($F(1,24) = 8,8, p < 0,01$), а для переменной время возврата ($F(1,24) = 2,8, p = 0,106$) оно, учитывая небольшой размер выборки, может считаться значимым на уровне тенденции. Время перехода к дополнительной задаче (рис. 3,а) практически не отличается при прерывании печатывания и переноса абзаца в случае простых дополнительных задач (18,3 с и 16,7 с соответственно). В случае сложной дополнительной задачи испытуемые быстрее переходят к его обработке, если выполнялась операция печатывания (14,6 с), а аналогичный переход при выполнении операции переноса абзаца занимает больше времени (20 с).

Взаимодействие факторов сложности дополнительной задачи и типа прерываемой операции для времени выполнения дополнительного задания представлено на рис. 3,б. Обработка простых дополнительных задач занимает примерно одинаковое время вне зависимости от того, какая операция выполнялась до переключения. При прерывании печатывания это время равняется в среднем 14,5 с, а при прерывании переноса абзаца – 17 с. Однако для сложной дополнительной задачи обнаруживается довольно значительное различие – при прерывании относительно сложной в смысле когнитивной нагрузки операции переноса абзаца на выполнение поиска в библиографии уходит в среднем 48,8 с, а при прерывании относительно простой операции печатывания на ту же самую задачу уходит в среднем 72,4 с. Таким образом, ухудшение продуктивности выполнения дополнительной задачи при переключении с операции печатывания приближается к 50 % – результат, имеющий не только теоретическое, но и практическое значение.



Для времени возвращения к выполнению основного задания рассматриваемое взаимодействие носит несколько другой характер (см. рис. 3,в). Если прерванной операцией является операция впечатывания, то время возврата к ней практически совпадает для простой и сложной дополнительной задачи (7 с и 8,4 с). При осуществлении возврата к операции переноса абзаца время возврата после выполнения сложной дополнительной задачи существенно возрастает по сравнению с простой дополнительной задачей (с 12,4 с до 19,1 с).

Для интерпретации полученных данных мы предположили существование двух стратегий обработки прерываний (Velichkovsky, Kapitsa, Blinnikova, 2007), которые используются в разных экспериментальных условиях. В некоторых ситуациях испытуемый может успешно справиться с прерываниями без (или с небольшой) предварительной когнитивно-бихевиоральной подготовки к переключению. При этом репрезентации контекста основного задания и дополнительной задачи присутствуют в оперативной памяти одновременно. Это приводит к очень быстрому переключению на дополнительную задачу и такому же быстрому возвращению к основному заданию, но замедляет выполнение дополнительной задачи (стратегия 1). Такой способ обработки прерываний эффективно используется испытуемыми, когда когнитивно простая операция (впечатывание фрагмента) прерывается для того, чтобы выполнить сложную задачу (поиск библиографического источника в другом окне). В других случаях необходима более тщательная подготовка к переключению, которая приводит к формированию «сжатой» ментальной репрезентации прерываемой операции (стратегия 2). Это замедляет как переключение на дополнительную задачу, так и возвращение к основному заданию (поскольку включает время на дополнительное кодирование и декодирование), но позволяет быстро выполнять дополнительную задачу. Эта стратегия используется при переходе от сложной прерываемой операции (перенос абзаца) к сложной дополнительной задаче (библиографический поиск).

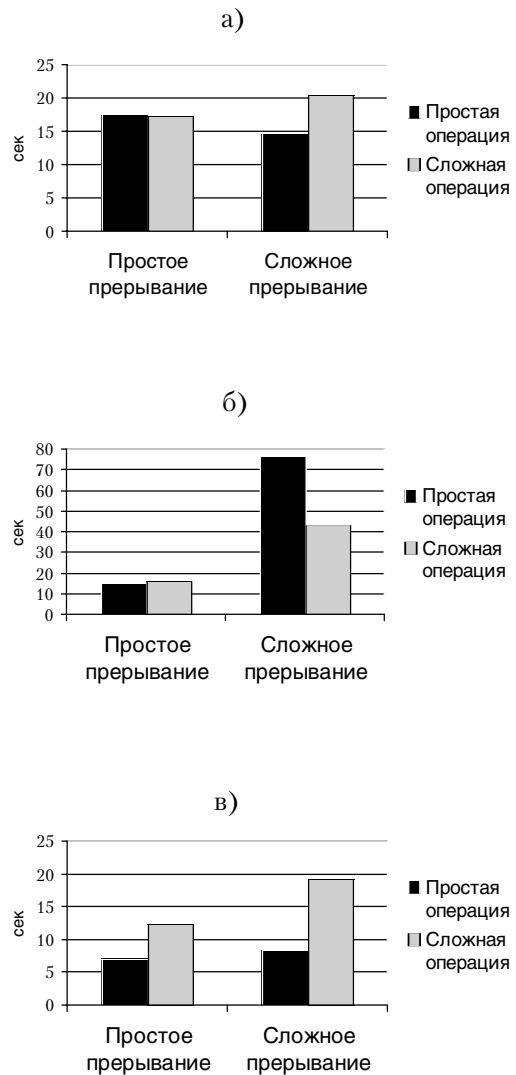


Рис. 3. Зависимость времени переключения (а), времени выполнения дополнительного задания (б) и времени возврата (в) от сложности прерванной операции и сложности дополнительного задания в эксперименте 2



Эксперимент 3

Целью данного эксперимента стал сбор свидетельств в пользу существования различных типов когнитивных стратегий, используемых испытуемыми при «входе» в прерывание и «выходе» из него. В частности, эксперимент был спланирован с целью проверки гипотезы, что если условия прерывания оцениваются испытуемым как достаточно «трудные», растет вероятность использования активной («проактивной») стратегии подготовки «входа» в прерывание. На основе данных предыдущих экспериментов можно также предположить, что реализация проактивной стратегии подразумевает несколько стадий: а) создание ментальной репрезентации контекста основного задания; б) «выгрузка» созданной ментальной репрезентации в долговременную память перед переходом к выполнению дополнительного задания; в) восстановление контекста основного задания в рабочей памяти при возврате из дополнительного задания на основе сохраненной в долговременной памяти репрезентации. Таким образом, проактивная стратегия позволяет уменьшить «цену прерывания» за счет более интенсивной подготовки его обработки. Проактивной стратегии противопоставлена реактивная стратегия, которая заключается в непосредственном переключении в поступившее прерывание без сколь-нибудь выраженной дополнительной подготовки. Для проверки этих утверждений в эксперименте манипулировалась связанная с обработкой прерывания нагрузка на рабочую память и анализировались временные интервалы, связанные с переходом к дополнительному заданию, его непосредственным выполнением и возвратом к основному заданию. Анализ времен был дополнен анализом глазодвигательной активности испытуемых непосредственно перед переходом в дополнительное задание и сразу по возвращении из него.

3.1. Методика. В эксперименте приняли участие 33 испытуемых в возрасте от 17 до 23 лет, студенты-психологи, обучающиеся в одном из вузов Москвы. Основное задание состояло в редактировании на компьютере научного текста психологической тематики объемом 30 страниц (шрифт Times New Roman, кегль 12) в редакторе Microsoft Word. Целью редактирования являлось изменение текста в соответствии со специальной маркировкой, внесенной в редактируемый текст заранее. Операции редактирования могли быть двух типов – когнитивно простые (выделение текста жирным шрифтом, курсивом или подчеркиванием) и когнитивно сложные (перенос отрывка текста на новую позицию в тексте).

Дополнительное задание предусматривало поиск авиабилетов в Интернете на сайте www.pososhok.ru. Использовались два вида дополнительных заданий – простой и сложный. В простом прерывающем задании от испытуемого требовалось ответить на вопрос, существует ли авиабилет с определенными характеристиками не дороже указанной экспериментатором суммы. В сложном прерывающем задании от испытуемого требовалось определить наиболее дешевый из двух маршрутов полета с одинаковыми начальной и конечной точкой, но различными промежуточными пунктами. Все задания подразумевали возможность ответа «да» или «нет».

Регистрация движений глаз осуществлялась с помощью системы EyeLink I, работающей с частотой 250 Нз. Фиксировались движения только правого глаза. В ходе регистрации движений глаз испытуемым разрешалось продолжать пользоваться очками и контактными линзами. Процедура проведения эксперимента планировалась таким образом, чтобы исключить уход линии взора испытуемого за пределы рабочего дисплея.



Перед проведением эксперимента испытуемые зачитывали инструкцию, после чего им демонстрировались основное задание, сайт для поиска авиабилетов и разъяснялась суть дополнительных заданий. Далее осуществлялась настройка и калибровка установки для регистрации движений глаз, по окончании которых испытуемый переходил к выполнению основного задания. Некоторые выполняемые операции редактирования прерывались экспериментатором. В ходе эксперимента каждый испытуемый обрабатывал по четыре прерывания, по одному на каждое сочетание уровней сложности прерванной операции и сложности дополнительного задания. Примерно каждые 5 мин второй экспериментатор, находившийся в комнате испытуемого, приостанавливал выполнение им основного задания и выполнял повторную калибровку оборудования для регистрации движений глаз.

3.2. Результаты. При анализе временной динамики обработки прерываний испытуемыми использовались следующие зависимые переменные – время переключения в дополнительное задание, время выполнения дополнительного задания, время возобновления выполнения основного задания и время возврата. Время «входа» определялось так же, как и в предыдущих экспериментах. Время возобновления определялось как длительность временного интервала между отправкой испытуемым ответа на дополнительное задание и моментом первой активной операции в основном задании. Время возврата определялось как длительность временного интервала между отправкой испытуемым ответа на дополнительное задание и выполнением операции в основном задании, следующей за прерванной. Графически результаты анализа временной динамики переключений представлены на рис. 4. Для оценки статистической значимости обнаруженных эффектов был проведен дисперсионный анализ с повторными измерениями по схеме 2x2 (с факторами «сложность прерванной операции» и «сложность дополнительного задания»).

Для времени переключения в дополнительное задание был обнаружен значимый эффект фактора сложности прерванной операции – переключение занимает больше времени в случае сложной прерванной операции. Полученный результат хорошо совместим с идеей проактивной стратегии подготовки к прерыванию, преимущественно используемой в случае сложных прерванных операций. Действительно, анализ записей действий испытуемых показывает, что в случае сложной прерванной операции они часто завершали ее выполнение, облегчая, таким образом, будущую когнитивную нагрузку при возврате из прерывания. Различия во времени «входа», вызванные действиями испытуемых по упрощению условий переключения, могут также включать в себя различия, вызванные когнитивными затратами на создание ментальной репрезентации контекста основного задания и сохранение ее в долговременной памяти.

Для времени возобновления обнаружено значимое взаимодействие обоих экспериментальных факторов ($F(1,30) = 6,34; p < 0,05$; контролировалось общее время работы). В случае когда простое дополнительное задание прерывало простую операцию, время возобновления работы с основным заданием было значительно большим, чем в остальных экспериментальных условиях. Для интерпретации этого результата следует отметить, что выбор стратегии обработки прерывания целесообразно осуществлять на основе анализа когнитивной сложности ситуации прерывания. Экспериментальное условие с простой прерванной операцией и простым дополнительным заданием связано с минимальной когнитивной нагрузкой, так что для него в наибольшей степени следует ожидать использования реактивной стратегии. Тогда полученное взаимодействие факторов свидетельствует об относительно низкой эффективности использования реактивной стратегии подготовки переключения.

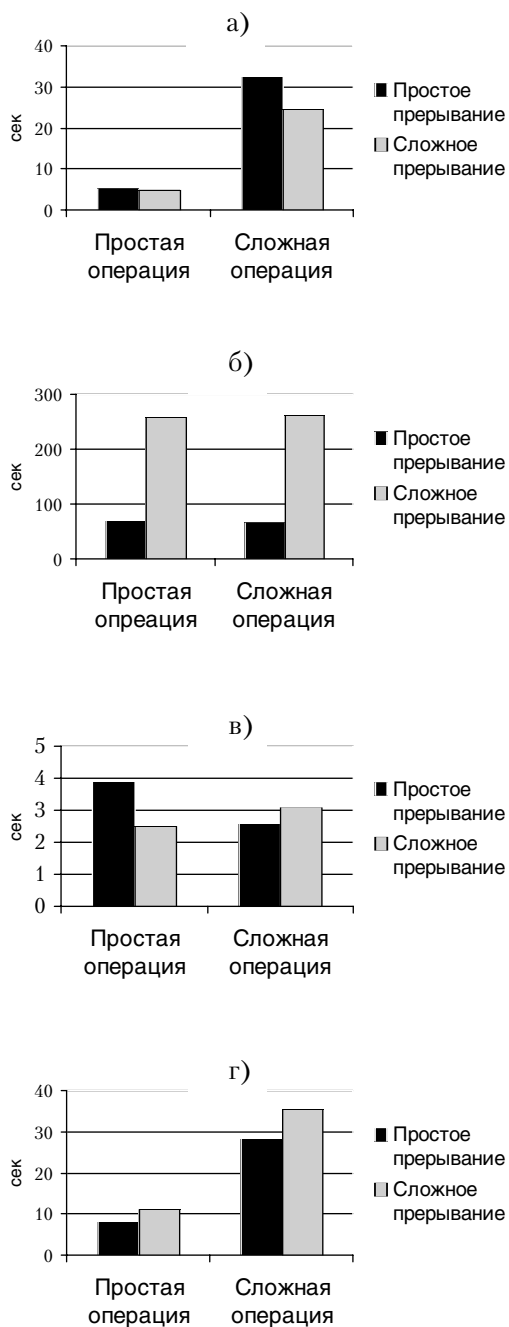


Рис 4. Зависимость времени переключения (а), времени выполнения дополнительного задания (б), времени возобновления (в) и времени возврата (г) от сложности прерванной операции и сложности дополнительного задания в эксперименте 3

В этом случае не происходит создания устойчивой репрезентации контекста основного задания, сохраненной в долговременной памяти. Вместо этого испытуемые опираются на подверженные интерференции репрезентации рабочей памяти, которые разрушаются при возникновении даже относительно легких затруднений при выполнении дополнительных заданий. Вследствие этого при возобновлении работы в основном задании испытуемый сталкивается с необходимостью восстановить контекст выполнения основного задания заново. Интересно, что когнитивно более сложный случай комбинации сложной прерванной операции со сложным прерыванием не связан с такой необходимостью, так как испытуемый может вторично использовать готовую репрезентацию контекста основного задания.

Представления о существовании проактивной подготовительной стратегии были проверены также с помощью методов корреляционного анализа. В частности, была исследована связь между временем «входа» в прерывание и временем возврата. Первый временной интервал может служить показателем интенсивности подготовки переключения в дополнительное задание, а второй интервал является показателем «цены» переключения, т. е. легкости, с которой испытуемый возвращается к выполнению основного задания. Обнаружено, что для простых прерванных операций и простых дополнительных заданий связь между двумя интервалами носит прямой характер ($r = +0,37; p < 0,05$). В случае простых прерванных операций и сложных дополнительных заданий отсутствовала значимая взаимосвязь временных интервалов. Напротив, для сложных прерванных операций взаимосвязь была значимой и отрицательной ($r = -0,4$ для простых дополнительных заданий и $r = -0,37$ для сложных



прерванных заданий; все $p < 0,05$). Эти результаты косвенно свидетельствуют, что в случае простых прерванных операций редко используется проактивная стратегия переключения (признаком которой является значимая негативная корреляция указанных временных интервалов). В случае сложных прерванных операций, наоборот, есть основания предполагать преимущественное использование испытуемыми проактивной стратегии.

Дополнительное подтверждение предположения, что испытуемые используют проактивную стратегию подготовки переключения, дает анализ данных о характере движений глаз. Можно предположить, что одним из центральных этапов проактивной стратегии является выделение испытуемым таких элементов основного задания, которые могут послужить в качестве ориентиров при восстановлении контекста основного задания после возвращения из дополнительного задания. Ожидается, что при возвращении из основного задания испытуемый будет целенаправленно искать эти ориентиры. С целью проверки этого предположения был проведен анализ соответствия пространственных характеристик движений глаз непосредственно до и после выполнения дополнительного задания. В качестве пространственной характеристики движений глаз использовалась средняя амплитуда саккад. Было обнаружено, что средние амплитуды саккад для времени переключения и времени возобновления не коррелируют значимо в случае простых прерванных операций, т. е. в тех случаях, когда можно ожидать преимущественного использования реактивной стратегии. Было также обнаружено, что в случае сложных прерванных операций средние амплитуды саккад коррелируют значимо и положительно ($r = +0,62$, $p < 0,001$ – простые дополнительные задания; $r = +0,48$, $p < 0,001$ – сложные дополнительные задания). Таким образом, были получены косвенные свидетельства в пользу того, что пространственное распределение движений глаз непосредственно до и после выполнения основного задания совпадает в случаях, когда можно предположить использование испытуемыми проактивной стратегии подготовки переключения. Такое совпадение рисунка движений глаз позволяет утверждать, что ориентировка на выявленные при подготовке переключения ориентиры составляет важный элемент проактивной стратегии обработки прерываний.

Обсуждение и выводы

Выше были описаны три экологически валидных эксперимента, каждый из которых был посвящен изучению проблемы обработки прерываний при выполнении типичных компьютеризованных офисных задач. Рассматривая результаты всех экспериментов в совокупности, можно сделать ряд выводов.

Во-первых, было показано, что прерывания могут оказывать значительное влияние на выполнение задач испытуемыми и их самочувствие. Направление и интенсивность этого влияния зависят от целого ряда факторов, таких как мотивация испытуемого, его функциональное состояние, условия труда, характеристики рабочих задач и параметры прерываний. Во всех трех экспериментах испытуемые работали достаточно быстро с минимальным количеством ошибок, компенсируя негативное влияние прерываний на деятельность. Такая компенсация обеспечивается повышением внутренней «цены» деятельности, что выражается в росте эмоциональной нагрузки, психофизиологической активации и переходу к энергоемкому, сознательному способу переработки информации.

Влияние прерываний может быть прослежено на самых разных уровнях человеческой деятельности. Как представляется, наиболее значительным результатом настоящего исследова-



ния является возможность выделения двух типов когнитивных стратегий переключения между основной и дополнительной задачами в ходе прерывания – реактивной и проактивной.

Характерным признаком реактивной стратегии является мгновенное переключение из основной в дополнительную задачу сразу после поступления сигнала о прерывании, что сопровождается доминированием параллельного модуля обработки (см. эксперимент 1). В ходе исследования были собраны свидетельства, что именно эта стратегия используется при прерываниях простых операций основного задания в экспериментах 2 и 3. Скорость, с которой осуществляется переключение при использовании реактивной стратегии, дает основания полагать, что в этом случае репрезентации основного и дополнительного задания одновременно представлены в рабочей памяти, так как недостаток времени не позволяет создать устойчивую к интерференции репрезентацию контекста основного задания, хранящуюся в долговременной памяти. Реактивная стратегия может быть эффективной – она обеспечивает высокую скорость «входа» в прерывание и «выхода» из него. Однако опора на неустойчивые репрезентации рабочей памяти делает данную стратегию уязвимой к возникновению ошибок и замедлению темпа работы тогда, когда при выполнении дополнительного задания возникают осложнения. Кроме того, поддержание двух активных репрезентаций заданий в рабочей памяти может, как показал эксперимент 2, приводить к существенному замедлению выполнения дополнительного задания. В эксперименте 3 было также показано, что предполагаемое использование реактивной стратегии приводит к значимому увеличению времени, необходимого для ре-ориентировки в основном задании после завершения обработки прерывания. Таким образом, использование реактивной стратегии может быть целесообразным в тех случаях, когда прерывание не связано с высокой когнитивной нагрузкой, однако она связана с повышенным риском снижения эффективности переключений.

Проактивная стратегия характеризуется большим временным интервалом, предвещающим переключение в дополнительное задание. Представляется, что большие временные затраты отражают интенсивную подготовительную активность испытуемого. На основе результатов, полученных в экспериментах 2 и 3, было сделано предположение, что – помимо поведенческих компонентов – подготовительная активность включает в себя формирование компактной репрезентации контекста основного задания и сохранение ее в рабочей памяти с одновременным созданием эффективной системы «ключей», которые позволяют по окончании прерывания перенести данную репрезентацию в рабочую память. Возможность доступа к подобной репрезентации практически исключает необходимость заново восстанавливать контекст основного задания после завершения выполнения дополнительного задания, т. е. позволяет уменьшить время ре-ориентировки в основном задании и снизить вероятность совершения ошибок. Естественно предположить, что проактивная стратегия особенно эффективна в случаях, когда прерывание связано с повышенной когнитивной нагрузкой. Есть основания полагать, что в эксперименте 3 испытуемые оценивали экспериментальные условия со сложными прерванными операциями как когнитивно более трудные и, следовательно, с большей вероятностью использовали проактивную стратегию. В соответствии с этим предположением в случае сложных прерванных операций была обнаружена отрицательная зависимость между временем «входа» и временем возобновления, т. е. было показано, что чем интенсивнее подготовка к переключению, тем выше эффективность обработки прерывания. В случае простых прерванных операций, когда нет



оснований ожидать использования проактивной стратегии, такой зависимости обнаружено не было.

Анализ данных регистрации движений глаз во время обработки прерывания является важным экспериментальным средством выявления микроструктуры когнитивных действий, обеспечивающих эффективное переключение с основной задачи на дополнительную и обратно. В частности, в рамках эксперимента 3 было обнаружено, что пространственные характеристики саккад непосредственно до и после выполнения дополнительного задания обнаруживают тенденцию к совпадению в тех случаях, когда вероятно использование проактивной стратегии. Этот результат может рассматриваться в качестве свидетельства, что ментальная репрезентация, создаваемая в ходе активной подготовки к переключению, включает в себя указания на пространственное расположение ряда семантически и/или визуально значимых ориентиров. Сразу после «выхода» из прерывания испытуемые в первую очередь визуально возвращаются именно к этим ориентирам, что говорит об их возможной роли в обеспечении восстановления контекста основного задания. В частности, содержание выделенных таким образом ориентиров может использоваться для обеспечения извлечения информации об основном задании из долговременной памяти.

Подводя итоги, следует отметить, что прерывания являются неизбежными в современных компьютеризованных формах труда. Изучение механизмов переключения между задачами, обеспечивающих успешную обработку прерываний, имеет очевидную практическую значимость. Уже сегодня речь должна идти о проектировании инновационных рабочих сред, которые облегчали бы работнику преодоление затруднений, вызванных возникающими в ходе выполнения трудовой деятельности прерываниями. В частности, если, как показывают проведенные исследования, человек способен компенсировать негативный эффект прерываний выбором адекватно стратегии подготовки переключений, то усилия специалистов-психологов и эргономистов должны быть направлены на разработку человеко-компьютерных интерфейсов, которые поддерживали бы человека-оператора в применении этих стратегий. Особую ценность могут иметь интерфейсы, непосредственно облегчающие применение проактивной стратегии подготовки переключения. Реализация подобной программы исследований, объединяющей фундаментальные и прикладные аспекты, позволит приблизиться к идеалу эффективной обработки прерываний, которая не сопровождалась бы негативными последствиями для качества выполняемой работы и самочувствия работающего человека.

Литература

Левин К. Динамическая психология. М.: Смысл, 2001.

Леонова А. Б., Блинникова И. В., Капица М. С. Эффекты прерываний и регуляции деятельности: Опыт применения структурно-интегративного подхода к оценке состояний человека // Психология психических состояний: Сб. статей / Под ред. А. О. Прохорова. Вып. 5. Казань: Центр инновационных технологий, 2004. С. 298–319.

Леонова А. Б., Капица М. С. Методы субъективной оценки функциональных состояний человека // Практикум по инженерной психологии и эргономике / Под ред. Ю. К. Стрелкова. М.: Академия, 2003.

Bailey B. P., Konstan J. A., Carlis J. V. Measuring the effects of interruptions on task performance in the user interface. IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics. Nashville, TN, 2000.



- Birenbaum G.* Das Vergessen einer Vornahme. Isolierte psychische Systeme und dynamische Ganzbereiche. *Psychologische Forschung*, 1930. Bd. 13 (2–3). S. 218–284.
- Botvinick, M., Bylsma L.* Distraction and action slips in an everyday task: Evidence for a dynamic representation of task context. *Psychonomic Bulletin and Review*, 2005. V. 12 (6). P. 1011–1017.
- Cutrell E., Czerwinski M., Horvitz E.* Notification, disruption and memory: Effects of messaging interruptions on memory and performance. In: M. Hirose (ed.) *Human-Computer Interaction (INTERACT 2001) Conference Proceedings*. IOS Press, IFIP, 2001. P. 263–269.
- Czerwinski M., Horvitz E., Willhite S.* A diary study of task switching and interruptions. In: *Proceedings of ACM Human Factors in Computing Systems: Proceedings of CHI'04*. N.Y.: ACM Press, 2004. P. 175–182.
- Dismukes K., Young K., Sumwalt R.* Cockpit interruptions and distractions: Effective management requires a careful balancing act. *ASRS Directline*, 1998. V. 10 (3). P. 4–9.
- Gillie T., & Broadbent T.* What makes interruptions disruptive? A study of length, similarity and complexity. *Psychological Research*, 1989. V. 50. P. 243–250.
- Kapitsa M. S., Blinnikova I. V.* Task performance under the influence of interruptions // *Operator functional state / Hockey G. R. J., Gaillard A. W. K. & Burov O. (eds.) Amsterdam: IOS Press, 2003. P. 323–329.*
- Leonova A. B.* Functional status and regulatory processes in stress management // *Operator functional state / Hockey G. R. J., Gaillard A. W. K. & Burov O. (eds.) Amsterdam: IOS Press, 2003. P. 36–52.*
- McFarlane D. C.* Coordinating the interruption of people in human-computer interaction // *Proceedings of Human-Computer Interaction (INTERACT'99) / Eds.: A. Sasse, C. Johnson (Eds.) IOS Press, IFIP, 1999. P. 295–303.*
- O'Connell B., Frohlich D.* Timespace in the workplace: Dealing with interruptions. In: *Proceedings of the ACM CHI'95 Conference on Human Factors in Computing Systems, 1995. V. 2. P. 262–263.*
- Osga G.* Task-managed watchstanding—concepts for 21st century naval operations In: *Proceedings of the 44th Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. San Diego Ca. July 31 – Aug 4th, 2000. P. 457–460.*
- Ovsiankina M.* Die Wiederaufnahme Brochener Handlungen. *Psychologische Forschung*, 1928. Bd. 11. P. 302–379.
- Velichkovsky B. B., Blinnikova I. V., Kapitsa M. S.* Effects of task switching on interruption handling in text editing In: S. Vosniadou, D. Kayser, A. Protopapas (Eds.). *Proceedings of EuroCogSci07: The European Cognitive Science Conference. Hove, UK: Lawrence Erlbaum Associates, 2007. P. 936.*
- Zeigarnik B. V.* über das Behalten von erledigten und unerledigten Handlungen (The retention of completed and uncompleted activities). *Psychologische Forschung*, 1927. Bd. 9. P. 1–85.

INTERRUPTIONS IN COMPUTERIZED ACTIVITY: STRATEGIES OF SWITCHING BETWEEN THE MAIN AND THE SECONDARY TASKS

LEONOVA A. B., Lomonosov Moscow State University, Moscow

BLINNIKOVA I. V., Lomonosov Moscow State University, Moscow

VELICHKOVSKY B. B., Lomonosov Moscow State University, Moscow

KAPIZA M. S., Lomonosov Moscow State University, Moscow

The article presents the results of three experiments conducted to study subjects' performance in executing computer-mediated tasks under the conditions of task interruptions and forced task-switching. The results of the experiments indicate that an increasing difficulty of periodic interruptions leads to a deep



restructuring of the functional state of the subject (computer operator). Two forms of cognitive-behavioral strategies to deal with task-switching are highlighted - reactive and proactive. Reactive strategies are characterized with the instantaneous shift of focus from the main task to an additional one, and are based on unstable interpretations of experimental conditions retrieved from working memory. Proactive strategies are characterized with intensive behavioral and cognitive activity in preparation for the task-switch, and are based on the use of interference-resistant mental representations of the main task stored in long-term memory.

Keywords: interruptions, forces switching, temporal dynamics of switching, computerized activity, eye movements.

Transliteration of the Russian references

Levin K. Dinamicheskaya psihologiya. M.: Smysl, 2001.

Leonova A. B., Blinnikova I. V., Kapitsa M. S. Effekty preryvanij i regulyatsii deyatel'nosti: Opyt primeneniya strukturno-integrativnogo podhoda k otsenke sostoyanij cheloveka // Psihologiya psihicheskikh sostoyanij: Sbornik statej / Pod red. A. O. Prohorova. Vyp. 5. Kazan': Centr innovatsionnyh tehnologij, 2004. S. 298–319.

Leonova A. B., Kapitsa M. S. Metody sub'ektivnoi otsenki funktsional'nyh sostoyanij cheloveka // Praktikum po inzhenernoi psihologii i ergonomike / Pod red. Yu. K. Strelkova. M.: Akademiya. 2003.