

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ У ОПЕРАТОРОВ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ КОМПЛЕКСОВ¹

А. А. Обознов*, **Д. Н. Завалишина****, **Е. Д. Чернецкая*****

** Доктор психологических наук, главный научный сотрудник
Институт психологии РАН, г. Москва
e-mail: aao46@mail.ru*

*** Доктор психологических наук, главный научный сотрудник
Институт психологии РАН, г. Москва*

**** Руководитель научно-методического центра "Психофизиологическое обеспечение профессиональной надежности персонала",
"Центральный институт повышения квалификации Росатома", г. Москва*

В статье рассматривается структурная организация концептуальных моделей у операторов человеко-машинных комплексов. На примере ведущих инженеров по управлению ядерным реактором раскрывается общая схема структурной организации концептуальных моделей энергоблока атомной станций.

Ключевые слова: концептуальные модели, человеко-машинные комплексы, атомная станция, ведущий инженер по управлению реактором.

Согласно принятым в отечественной инженерной психологии взглядам, человеку-оператору отводится в управлении техническими системами роль ответственного субъекта, то есть признание за ним права и возможности принятия самостоятельных решений с одновременным возложением ответственности за их последствия [6, 7, 12]. Для реализации такой роли у человека-оператора должна быть сформирована концептуальная модель технического объекта и технологического процесса – осознанное представление о его функционировании, программах управляющих воздействий и иных сведениях, необходимых для управления и контроля происходящих в системе изменений. При этом содержание концептуальных моделей составляли, прежде всего, сведения технического характера [4, 8, 13, 17; и др.]. Так, в работе А.И. Галактионова и его сотрудников исследовались содержащиеся в концептуальных

¹ Работа выполнена при поддержке РФНФ, проекты №08-06-00403а и №11-06-01136а

моделях сведения о связях между элементами технического оборудования и технологического процесса (агрегаты, устройства, технологические операции, их параметры и т.д.); между сигналами, предъявляемыми на средства индикации и т.п. [4]. Представленность в концептуальных моделях сведений о взаимодействиях операторов при управлении системами «человек-машина» оставалась вне специальных исследований. Во многом это объясняется тем, что системы «человек-машины» фактически изучались как включающие единственного оператора.

Современный этап развития техники характеризуется активным применением крупномасштабных человеко-машинных комплексов, которые включают несколько систем «человек-машина». Эти системы технологически связаны в единый процесс достижения конечной цели – выработки энергии, осуществление заданного полёта, морского перехода и т.п. Примерами таких комплексов служат атомные станции, орбитальные комплексы, пилотируемые космические корабли, летательные аппараты новых поколений, крупнотоннажные морские суда и др. [5, 9, 10]. Управление человеко-машинными комплексами (ЧМК) предполагает совместное и координируемое взаимодействие нескольких операторов. Поэтому в концептуальных моделях у каждого оператора должны быть представлены не только сведения о работе ЧМК как сложного технического объекта и технологического процесса, но и как *социотехническом объекте*, управляемом командой операторов.

Проблема состоит в выявлении того, как *организованы* в концептуальных моделях у оператора сведения о технических и технологических характеристиках, а также взаимодействиях команды операторов ЧМК. Как отмечал Д.А. Ошанин [17], концептуальная модель есть не некий конгломерат сведений, а их структурная организация, которая должна быть раскрыта. Эта проблема остаётся к настоящему времени недостаточно изученной и является актуальной не только в

инженерной психологии и эргономике. На важность изучения организации сведений и знаний, содержащихся в памяти человека, указывалось в когнитивной психологии. Отмечалось, что эффективность применения имеющихся у человека сведений и знаний зависит от их организации в памяти [1, 3, 20; и др.].

Поставленная проблема рассматривалась нами применительно к операторам, включенным в управление атомными станциями [14, 15, 16]. Данная статья посвящена выявлению структуры концептуальных моделей у операторов атомных станций.

АТОМНАЯ СТАНЦИЯ КАК КРУПНОМАСШТАБНЫЙ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ КОМПЛЕКС

Атомная станция является типичным примером крупномасштабного человеко-машинного комплекса. Энергоблок атомной станции включает несколько систем «человек-машина», наиболее крупные из них – реакторный и турбинный цеха. Эти системы включают, в свою очередь, ряд подсистем. Все системы и подсистемы энергоблока взаимосвязаны в единый технологический процесс, нацеленный на получение конечного продукта – электрического тока. Энергоблоку атомной станции, как и всякому человеко-машинному комплексу, присущи: многочисленные внутрисистемные и межсистемные взаимосвязи, включая нелинейные и нестабильные взаимовлияния; нестационарные экстремальные условия рабочей среды; воздействия субъективных факторов, связанных с управляющими воздействиями оперативного персонала и др. [2].

В управлении энергоблоком участвует дежурная смена операторов, каждый из которых несёт персональную ответственность за работу вверенной ему системы. Так, работу реактора контролирует ведущий инженер по управлению реактором, турбины – ведущий инженер по управлению турбиной. Общее оперативное руководство эксплуатацией энергоблока осуществляет начальник смены блока. Основу групповой

деятельности персонала составляют взаимодействия операторов: передача оперативных распоряжений и уведомлений об их исполнении, получение дополнительной информации о функционировании отдельных систем и подсистем; координация и синхронизация совместных действий по эксплуатации энергоблока, преодолению нештатных ситуаций и др. Для понимания происходящих в энергоблоке событий, в концептуальной модели каждого из операторов дежурной смены, как отмечалось выше, должны содержаться сведения не только о технических и технологических характеристиках энергоблока, но и обязанностях других операторов дежурной смены, правилах их взаимодействия.

Организация этих сведений изучалась нами на примере ведущего инженера по управлению реактором (ВИУР), который осуществляет оперативное управление и контроль ядерного реактора с блочного щита управления. Управляющие воздействия ВИУРа имеют последствия для состояния не только подконтрольной ему системы (реакторный цех), но и систем, управляемых и контролируемых другими операторами, прежде всего, турбинного цеха. Ошибка в управлении реактором может привести к лавинообразному нарастанию нарушений на других, неподконтрольных ВИУРу участках технологического процесса в энергоблоке. Поэтому управление и контроль реактора осуществляются в условиях постоянного взаимодействия со всеми операторами дежурной смены, включая передачу и получение оперативных распоряжений, уведомлений об их исполнении, получение и передачу дополнительной информации, координацию и синхронизацию совместных действий по преодолению проблемных ситуаций и т.п.

Характеристики энергоблока, сведения о которых должны содержаться в концептуальной модели у ВИУРа, можно объединить в следующие классы:

- оборудование и технические устройства энергоблока (оборудование) – главный циркуляционный насос, система внутриреакторного контроля и др.;
- параметры работы энергоблока (параметры) – тепловая мощность, уровень в парогенераторе, электрическая мощность и др.;
- должности операторов дежурной смены (должности) – начальник смены станции, ведущий инженер управления реактором, старший оператор реакторного оборудования, ведущий инженер по управлению турбиной и др.;
- обязанности операторов (обязанности) – принятие оперативных решений, оперативный контроль и регулирование параметров 1-го контура, регулирование мощности 2-го контура и др.²

МЕТОДИКА

Нами было проведено эмпирическое исследование связей характеристик энергоблока в концептуальных моделях или, иначе говоря, их структурной организации у ведущих инженеров по управлению реактором. Связи характеристик рассматривались в двух аспектах

Первый аспект – рассмотрение связей с точки зрения реализуемой ими функции – когнитивной, регулятивной и коммуникативной. В зависимости от этой функции связи выделялись три компонента концептуальной модели. *Когнитивный* компонент содержит представления операторов о связях между техническими элементами и характеристиками энергоблока (связи работы энергоблока) – оборудованием, агрегатами, подсистемами и их параметрами. Эти связи отражают работу энергоблока как технического объекта атомной станции, происходящую без прямого вмешательства операторов. Примерами связей

²Данную систематизацию предложил П.П. Литвиненко, главный специалист Отдела менеджмента качества НОУ ДПО «Центральный институт повышения квалификации Росатома» («ЦИПК Росатома»).

когнитивного компонента являются: «оборудование–оборудование» («главный циркуляционный насос и системы безопасности» и др.); «параметр–параметр» («уровень в парогенераторе и тепловая мощность» и др.); «оборудование–параметр» («система внутриреакторного контроля и тепловая мощность» и др.). *Регулятивный* компонент содержит представления о связях обязанностей операторов с управлением и контролем оборудования, агрегатов и параметров энергоблока, а также о программах управляющих воздействий. Эти связи отражают зоны персональной ответственности каждого оператора за управление и контроль определённого участка энергоблока. Примерами связей регулятивного компонента являются: «оператор-обязанность» («ведущий инженер по управлению реактором и оперативный контроль и регулирование параметров реакторного цеха» и др.); «оператор-оборудование» (ведущий инженер по управлению реактором и главный циркуляционный насос» и др.). *Коммуникативный* компонент содержит представления о взаимодействиях операторов дежурной смены энергоблока. Эти взаимодействия отражают совместный характер деятельности по управлению и контролю энергоблока. К ним относились связи «оператор-оператор», например, «ведущий инженер по управлению реактором и начальник смены реакторного цеха» и др.

Второй аспект - рассмотрение связей с точки зрения их субъективной силы для ВИУРов, а именно как сильные, средние и слабые.

Для эмпирического исследования экспертами были отобраны 32 характеристики энергоблока, по 8 характеристик каждого из приведенных выше 4-х классов – видов оборудования, параметров работы энергоблока, должностей и обязанностей операторов дежурной смены энергоблока.

Названия характеристик предъявлялись ведущим инженерам по управлению реактором в косоугольной матрице размерностью 32x32 со следующей инструкцией: «Просим Вас оценить выраженность связей

каждой пары характеристик по 7-ми балльной шкале: 1 - очень слабая связь; 2 - слабая связь; 3 - связь ниже средней силы; 4 - связь средней силы; 5 - связь выше средней силы; 6 - сильная связь; 7 - очень сильная связь.

Правильных или неправильных ответов не бывает, важны Ваши личные оценки выраженности связей характеристик».

Каждый ВИУР оценивал связи 496 пар характеристик.

Всего в исследованиях приняли участие 64 ведущих инженера по управлению реактором, работавших на 5-ти атомных станциях России. Возраст обследованных операторов составил от 27 до 59 лет, общий стаж работы на атомных станциях – от 3-х до 35 лет, стаж работы в должности ведущего инженера по управлению реактором — от 6 месяцев до 34 лет.

Для выявления особенностей понимания ВИУРами субъективной силы связей характеристик, содержащихся в когнитивном, регулятивном и коммуникативном компонентах концептуальной модели, использовался метод интервью. Для выявления структурной организации компонентов концептуальной модели применялся метод многомерного шкалирования [18, 19].

РЕЗУЛЬТАТЫ

С помощью метода интервью были выявлены особенности понимания ведущими инженерами по управлению реактором субъективной силы связей между характеристиками в каждом компоненте концептуальной модели.

Когнитивный компонент содержал представления о связях, отражавших работу энергоблока как сложного технического объекта. По субъективным отчётам ВИУРов, сильная и очень сильная связь (6-7 баллов) видов оборудования и параметров означала, что при изменении одной из этих характеристик, почти всегда (или всегда) изменится другая характеристика. Например, при изменении состояния одного вида оборудования (параметра) всегда или почти всегда изменится состояние

другого вида оборудования (параметра). По сути, сильная выраженность этих связей понималась ВИУРами как причинно-следственная зависимость. Связь средней силы (3-5 баллов) означала, что при изменении состояния одного вида оборудования (параметра) состояние другого вида оборудования (параметра) может с равной вероятностью как измениться, так и не измениться. Слабая связь (1-2 балла) характеристик работы энергоблока означала, что при изменении состояния одного вида оборудования (параметра) состояние другого вида оборудования (параметра) не изменится, либо очень редко изменится.

Регулятивный компонент содержал представления о связях обязанностей операторов дежурной смены с управлением и контролем определенных видов оборудования, агрегатов и параметров энергоблока. Сильная и очень сильная связь (6-7 баллов) означала, что определённая должность оператора связана с его прямой (личной) ответственностью за управление и контроль определённых видов оборудования и параметров. Связь средней силы (3-5 баллов) означала, что должность оператора связана с косвенной ответственностью за управление и контроль определённых видов оборудования и параметров. То есть, речь шла о видах оборудовании и параметрах, которые не входили в зону личной ответственности данного оператора, но на которые он может опосредствованно влиять либо не влиять своими управляющими воздействиями. Слабая взаимосвязь означала, что должность оператора не связана с прямой и косвенной ответственностью за управление и контроль определённых видов оборудования и параметров.

Коммуникативный компонент содержал представления о взаимодействиях операторов дежурной смены энергоблока. Сильная и очень сильная связь (6-7 баллов) означала, что выполнение должностных обязанностей одним оператором возможно только при условии выполнения должностных обязанностей другим оператором. Связь

средней силы (3-5 баллов) означала, что зависимость выполнения должностных обязанностей одним оператором от выполнения должностных обязанностей другим оператором может проявляться либо не проявляться в зависимости от обстоятельств. Слабая взаимосвязь (1-2 балла) означала, что выполнение должностных обязанностей одним оператором не зависело от выполнения должностных обязанностей другим оператором.

В таблице 1 приведены данные о распределении связей разной субъективной силы, содержащихся в компонентах концептуальной модели у ведущих инженеров по управлению реактором.

Таблица 1. Распределение (%) связей разной субъективной силы в зависимости от компонента концептуальной модели.

| Компонент концептуальной модели | Субъективная сила | | | Итого (%) |
|--|--------------------|----------------------|----------------------|-----------|
| | Слабая (1-2 балла) | Средняя (3-5 баллов) | Сильная (6-7 баллов) | |
| Когнитивный (связи работы энергоблока) | 48,0 | 24,0 | 28,0 | 100 |
| Регулятивный (связи управления и контроля энергоблока) | 32,0 | 26,5 | 41,5 | 100 |
| Коммуникативный (связи между операторами) | 22,5 | 19,5 | 58,0 | 100 |

Как следует из данных таблицы, связи работы энергоблока (когнитивный компонент) оценивались ВИУРами как сильные только в 28% случаев, а как слабо связанные – в 48% случаев. То есть, работа энергоблока как технического объекта без вмешательства операторов предстаёт в концептуальных моделях ВИУРов как слабо детерминированная: доля причинно-следственных связей между техническими звеньями оценивается меньше одной трети. Вообще говоря, такое представление адекватно отражало работу энергоблока как технического комплекса, для которого типичны нелинейные,

нестабильные и случайные (нерасчётные), а потому и трудно предсказуемые взаимовлияния технических звеньев.

Иная картина наблюдалась для связей управления и контроля энергоблоком (регулятивный компонент). Эти связи оценивались ВИУРами как сильные в 41,5% случаев, или в полтора раза чаще, чем связи работы энергоблока. Связи между операторов дежурной смены (коммуникативный компонент) оценивались ВИУРами как сильные ещё чаще, в 58% случаев.

Таким образом, степень структурированности связей между характеристиками энергоблока в компонентах концептуальной модели у ВИУРов существенно различалась. В наименьшей степени взаимосвязаны виды оборудования и параметры энергоблока, отражавшие его работу как технического объекта, в наибольшей – связи между операторами дежурной смены. Это значит, что для ВИУРов наименее предсказуемыми были взаимовлияния технических звеньев энергоблока, наиболее предсказуемыми – взаимодействия операторов дежурной смены. Например, ВИУР при запросе к другому оператору уверен, что получит от последнего нужную информацию.

В результате применения процедуры многомерного шкалирования к матрице 32x32, усредненной для всей обследованной выборки ВИУРов, выявлена общая схема структурной организации компонентов концептуальной модели энергоблока. Эта схема сохранялась у ведущих инженеров по управлению реактором независимо от их профессиональной успешности и стажа. Общая схема была представлена в виде двухмерного семантического пространства (см. рисунок 1).

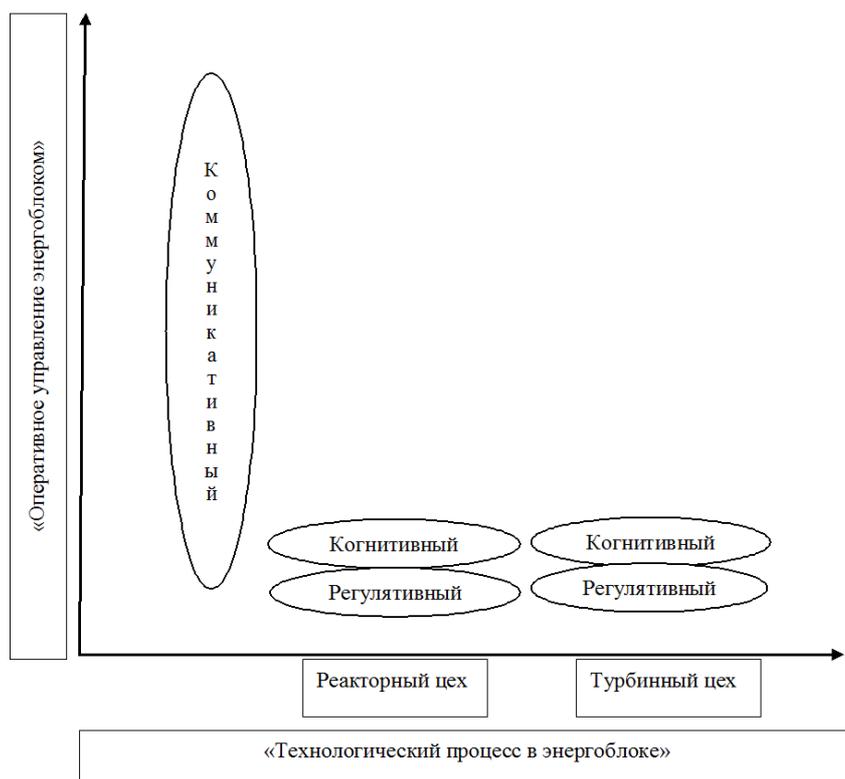


Рис. 1. Общая схема структурной организации компонентов концептуальной модели энергоблока у ведущих инженеров по управлению реактором

Вдоль горизонтальной оси расположены характеристики, содержащиеся в когнитивном и регулятивном компонентах концептуальной модели и отражавшие представления ВИУРов о работе двух основным систем энергоблока – реакторного и турбинного цехов, а также о действиях управления и контроля этими системами. Сначала представлены характеристики, связанные с работой, а также управлением и контролем реакторного, далее – турбинного цеха. Горизонтальную ось семантического пространства мы интерпретировали как фактор «Технологический процесс в энергоблоке».

Вдоль вертикальной оси располагались характеристики, содержащиеся в коммуникативном компоненте концептуальной модели и отражавшие представления ВИУРов об иерархии должностей операторов дежурной смены и их взаимодействиях. Ниже были

расположены характеристики, отражавшие должности и обязанности операторов-исполнителей, выше - характеристики, отражавшие должности и обязанности вышестоящих операторов дежурной смены энергоблока. Вертикальную ось мы интерпретировали как фактор «Оперативное управление энергоблоком».

ВЫВОДЫ

1. Степень структурированности (взаимосвязанности) характеристик энергоблока в компонентах концептуальной модели энергоблока у ведущих инженеров по управлению реактором существенно различалась. В наименьшей степени были структурированы характеристики когнитивного, наибольшей – характеристики коммуникативного компонента. Это означало, что для ведущих инженеров по управлению реактором наименее предсказуемыми были взаимовлияния технических звеньев энергоблока, а наиболее предсказуемыми – взаимодействия операторов дежурной смены энергоблока.

2. Согласно выявленной общей схеме, структурная организация компонентов концептуальной модели энергоблока атомной станции может быть представлена в виде двухмерного семантического пространства. Вдоль горизонтальной оси структурировались характеристики, содержащиеся в когнитивном и регулятивном компонентах и отражавшие протекание, управление и контроль основного технологического процесса в энергоблоке: производство с помощью реактора теплоносителя, его превращение в энергию пара и далее – электрическую энергию. Вдоль вертикальной оси структурировались характеристики, содержащиеся в коммуникативном компоненте и отражавшие иерархию должностей и обязанностей операторов дежурной смены, а также их взаимодействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андерсон Дж.* Когнитивная психология. СПб.: Питер, 2002.
2. *Анохин А.Н., Острейковский В.А.* Вопросы эргономики в ядерной энергетике. М.: Энергоатомиздат, 2001.
3. *Величковский Б.М.* Когнитивная наука: Основы психологии познания: в 2 т. Т. 2. М.: Смысл: Издательский центр «Академия», 2006.
4. *Галактионов А.И.* Системное исследование психических образов, формируемых оператором-технологом // Системный подход в инженерной психологии и психологии труда. М.: Наука, 1992, С. 92-105.
5. *Голиков Ю.Я.* Методология психологических проблем проектирования техники. М.: Пер Сэ, 2003.
6. *Завалова Н.Д., Ломов Б.Ф., Пономаренко В.А.* Принцип активного оператора и распределение функций между человеком и оператором // Вопросы психологии. 1971. № 3. С. 3-12.
7. *Зараковский Г.М., Павлов В.В.* Закономерности функционирования эргатических систем. М.: Радио и связь, 1987.
8. *Зинченко В.П., Мунипов В.М.* Основы эргономики. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979.
9. *Костин А.Н.* Социально-психологические проблемы и детерминанты автоматизации управления сложной техникой // Социальная психология труда: теория и практика Т. 1. / Отв. ред. Л.Г. Дикая, А.Л. Журавлев. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2010. С. 277-296.
10. *Костин А.Н., Голиков Ю.Я.* Организационно-процессуальный анализ психической регуляции сложной деятельности. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2014.
11. *Ломов Б.Ф.* Человек и техника: (Очерки инженерной психологии). 2-е изд. М.: Сов.радио, 1966.
12. *Ломов Б.Ф.* О путях построения теории инженерной психологии на основе системного подхода // Инженерная психология. Теория, методология, практическое применение. М.: Наука, 1977. С. 31-55.
13. *Мунипов В.М., Зинченко В.П.* Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды. М.: Логос, 2001.
14. *Обознов А.А., Волков Э.В., Чернецкая Е.Д.* Образно-концептуальные модели в деятельности операторов сложных эргатических систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 5. С. 21-30.
15. *Обознов А.А., Чернецкая Е.Д., Литвиненко П.П., Бондаренко И.Н.* Структуры концептуальных моделей у операторов атомных станций // Экспериментальная психология. 2012. Т. 5. № 4. С. 66-75.
16. *Обознов А.А., Чернецкая Е.Д., Бессонова Ю.В.* Концептуальные модели атомной станции у операторов с разным профессиональным стажем // Психологический журнал. 2013. Т. 34. № 4. С. 47-57.

17. *Ошанин Д.А.* Предметное действие оперативный образ: Избранные психологические труды. М.: Московский психолого-социальный институт; Воронеж: НПО «МОДЭК», 1999.
18. *Петренко В.Ф.* Основы психосемантики. М.: Эксмо, 2009.
19. *Петренко В.Ф., Митина О.В.* Психосемантический анализ динамики общественного сознания (на материале политического менталитета). Смоленск: Изд-во СГУ, 1997.
20. *Холодная М.А.* Психология интеллекта: парадоксы исследования. Томск: Изд-во Томск. ун-та; М.: Барс, 1997.

CONCEPTUAL MODELS THE OPERATORS OF MAN-MACHINE SYSTEMS

Alexander A. Oboznov*, Dinara N. Zavalichina, Elena D. Chernetskaya*****

* *Sc. D. (psychology), Leading researcher,
Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, Moscow
e-mail: aao46@mail.ru*

** *Sc. D. (psychology), Leading researcher,
Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

*** *The head of the Scientific-methodical Center "Psychophysiological maintenance of professional personnel reliability", "Central Institute for Advanced Studies by Rosatom", Moscow*

In the article considered the structural organization of conceptual models the operator of man-machine systems. Revealed the general scheme of structural organization of nuclear power plant, for example chief engineer for the reactor control.

Keywords: conceptual models, man-machine systems, nuclear power plant, chief engineer for the reactor control, professional success, personal qualities

Библиографическая ссылка на статью:

Обознов А.А., Завалишина Д.Н., Чернецкая Е.Д. Концептуальные модели у операторов человеко-машинных комплексов // Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда. 2016. Т. 1. № 1. С. 186–199.

Адрес статьи: <http://work-org-psychology.ru/engine/documents/document210.pdf>