

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК ПРИМЕР РЕШЕНИЯ РЯДА КЛЮЧЕВЫХ ЗАДАЧ ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ

Лисиенко В.Г., Морозова В.А., Сучков А.В.

*ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
Екатеринбург, Россия*

Современные средства взаимодействия человека и техники представляют собой сложный комплекс, включающий различные компоненты: планирование, информирование и управление общением; формализацию облика информации, интерпретацию сообщений; представление, обработку данных и принятие решения; обеспечение надежности и др. [1]. Основной тенденцией перспективного развития и совершенствования средств взаимодействия является создание адаптивных интеллектуальных систем, учитывающих целесообразное распределение нагрузки между искусственным интеллектом ЭВМ и интеллектом.

Учет психологических характеристик человека-оператора при создании структур эргатических (человеко-машинных, социотехнических) систем управления является задачей их структурного анализа и синтеза, учет психологических факторов оператора при управлении сложными эргатическими системами управления – задачей их функционального анализа и синтеза, исследование и поиск рациональных способов сопряжения оперативного персонала с техническими средствами и решаемыми задачами управления – задачей информационного анализа и синтеза эргатических систем управления, исследование и количественная оценка разнообразных свойств и различных условий функционирования оперативного персонала и используемых технических средств управления – задачей параметрического анализа и синтеза эргатических систем управления [1]. При этом определены следующие основные пути повышения эффективности работы персонала [1]: 1) обеспечение необходимой степени профессиональной подготовки операторов; 2) проектирование аппаратуры в соответствии с требованиями инженерной психологии; 3) обеспечение контроля за правильностью действий операторов; 4) правильный выбор режимов труда и отдыха операторов; 5) исключение информационных перегрузок операторов; 6) обеспечение хорошего психологического климата в коллективе операторов и т.п.

Взаимодействие человека и технических устройств является объектом изучения инженерной психологии [2]. Основными задачами инженерной психологии являются исследования процессов приема, переработки и хранения информации человеком, которые осуществляются при проектировании технических устройств и управлении ими. Работа в инженерной психологии ведется по следующим направлениям: 1) изучение структуры операторской деятельности, ее психофизиологических и психологических аспектов; 2) инженерно-психологическое проектирование; 3) психологическое обеспечение научной организации труда (управления производственным процессом на основе системного анализа), в рамках которой в том числе решается задача подготовки рабочих кадров [3]; 4) профессиональный отбор, подбор, обучение и расстановка кадров, в ходе которых осуществляется принятие кадровых решений на основе изучения и прогностической оценки пригодности людей к овладению профессией, выполнению профессиональных обязанностей и достижению необходимого уровня мастерства [4]. При этом широко используются психодиагностические методики, к основным из которых относятся тесты [5]. Различают: – тесты интеллекта, служащие для определения уровня и особенностей интеллектуального развития индивида. При помощи подобных тестов могут диагностироваться как общий уровень интеллекта, выраженный количественным образом, так и особенные, достаточно независимые друг от друга интеллектуальные факторы [6];

– тесты достижений, служащие для выявления учебных или профессиональных знаний, умений и навыков, включающие в себя решение задач, имеющих учебное или профессиональное содержание. Их использование обосновано при отборе, аттестации, экзамене [7];

– тесты специальных способностей, которые определяют успешность учебной и профессиональной деятельности [8] и др.

В настоящее время доменное производство не имеет надежной системы контроля знаний и навыков персонала, который непосредственно влияет на работу печи, в частности мастеров. Но пока еще люди, а не автоматика, принимают ключевые решения, влияющие на протекание производственных процессов и состояние оборудования. Поэтому задача оценки профессионализма работников доменной печи является актуальной. Кроме того, широкие возможности повышения знаний, и, отчасти, опыта персонала появляются в результате использования компьютерных систем обучения, моделирующих реальные технологические процессы. Такие системы называются компьютерными тренажерами и являются одними из наиболее эффективных и экономичных средств обучения и тестирования персонала, способствуют усвоению и закреплению навыков управления в нестандартных ситуациях, снижению числа аварий и сбоев вследствие ошибок оператора [9].

В настоящей работе предлагается комплексная система оценки и повышения квалификации персонала, особенностью которой является органичное сочетание тестовой системы, предназначенной для контроля знаний и навыков персонала по набору определенных правил (техника безопасности и т.п.), а также для общего ознакомления с производственным процессом (объектом управления или технологическим процессом), и динамического тренажера на базе математической модели доменной печи, предназначенного для изучения физических основ и способов функционирования агрегатов, проведения экспериментов, для обучения определенному порядку действий (например, способам управления доменной печью), для проблемного обучения, противоаварийных тренировок и анализа аварий.

Специфика создания тестовой системы для персонала доменной печи рассмотрена в [10].

Одной из основных проблем тестирования работников производства (а проверка знаний доменщиков – не рядовая задача!) является недостаточность знаний разработчика тестовой системы в области доменного производства. Подобная проблема является не следствием недостаточной образованности, а спецификой решаемой задачи, которая лежит на стыке нескольких научных и прикладных дисциплин, что обуславливает невозможность качественного решения проблемы силами одного человека. В данном случае для реализации компьютерной системы тестирования предлагается привлечение экспертов доменного производства, которые должны: 1) указать, по каким темам должно проводиться тестирование; 2) сформировать базу тестовых заданий, где каждое задание должно соответствовать одному из четырех типов (закрытое с выбором одного или нескольких ответов, на упорядочение, на установление соответствия, открытое с вводом ответа); 3) оценить важность всех разделов и заданий с помощью балльной шкалы, ранжирования, либо попарного сравнения.

Для полноты и объективности тестов целесообразно привлекать группу экспертов, которые являются представителями разных научных направлений и разных поколений (это уменьшает опасность получения односторонних, однобоких знаний). Кроме того экспертам присущи личностные особенности. Одна из возможных классификаций людей по психологическим характеристикам [11, 12] делит всех на три типа: мыслители (познавательный тип), которые ориентированы на интеллектуальную работу, учебу, теоретические обобщения; собеседники (эмоционально-коммуникативный тип) – общительные, открытые люди, готовые к сотрудничеству) и практики (практический тип), которые предпочитают действие разговорам, хорошо реализуют замыслы других, направлены на результативность работы.

Работа экспертов «с чистого листа» была бы очень трудоемкой, поэтому для анализа экспертам предлагается предварительный набор тем, по которым предполагается проводить

тестирование, представленный в виде иерархии (4 уровня). Для составления этой иерархии был разработан общий подход, который может быть использован при создании тестов для различных специалистов производства [10]. Суть этого подхода состоит в следующем. Первый уровень представляет собой декомпозицию главной цели тестирования по видам профессиональной деятельности специалиста. Для инженерных специальностей можно выделить следующие виды такой деятельности: производственно-технологическую; эксплуатационную и сервисного обслуживания; научно-исследовательскую; проектно-конструкторскую; организационно-управленческую. В случае оценки технического персонала доменной печи используется лишь производственно-технологическая деятельность.

На втором уровне целесообразно выделить подцели. К ним, в частности относятся: основные технологические процессы; вспомогательные технологические процессы; основное оборудование и устройства; моделирование процессов; материалы и компоненты; системы контроля и управления процессами; методы исследования и диагностики процессов и оборудования; обеспечение энерго- и ресурсосбережения; защита окружающей среды; обеспечение качества выпускаемой продукции; другие объекты деятельности.

На третьем уровне для каждого объекта профессиональной деятельности формируется соответствующий набор компонентов (решаемых задач).

Наконец, на четвертом уровне формируются конкретные тестовые задания, связанные с объектами и задачами профессиональной деятельности работников, как в теоретическом, так и в практическом плане.

Необходимо отметить, что верхние уровни полученной иерархической модели практически не зависят от специальности в области техники и технологии. Отличия возникают на третьем и четвертом уровнях. Таким образом, при применении подхода к конкретному производству необходимо разработать только эти уровни структуры.

Другой важной проблемой при составлении тестов для производственных специалистов является малая теоретическая проработанность этого процесса (хотя сейчас это направление развивается), так как большая часть исследований в области тестирования посвящена оценке знаний учащихся [10]. Отличие оценки квалификации специалистов состоит в том, что оценивается не столько знание теоретического материала, сколько способность принимать правильные решения, связанные, как правило, с регулированием производственных процессов. К тому же тест должен быть готов к использованию без предварительного сбора статистики для оценки качества заданий, как это делается в учебных тестах, поскольку количество специалистов не столь велико и, очевидно, они не заинтересованы в многочисленных пробных тестированиях.

Описанные проблемы предложено решать путем использования экспертных знаний, что в свою очередь должно обеспечить высокое качество и валидность (соответствие цели) тестовых заданий. При этом сформулированы требования к процессу формирования тестовой системы (использование экспертной информации, опрос нескольких различных экспертов, удобство работы экспертов) и разработана программа экспертного выбора тем тестирования, с помощью которой эксперты отмечают важность различных тем для тестирования по 4-балльной шкале (0 – данный раздел не включается в тест, 1 – низкая важность раздела, 2 – средняя, 3 – высокая).

Работа [13] посвящена проблеме разработки тренажера на базе математической модели. Для динамического тренажера предполагается два режима работы – обучение (тренировка) и тестирование (проверка знаний). При работе тренажера в режиме обучения должна быть обеспечена возможность вызова подсказки и определения дальнейших действий. При работе в режиме тестирования подсказки не вызываются, а за каждое неверное действие начисляются штрафные очки. Задача оценки обучаемого в описанных условиях не является тривиальной, так как в сложных динамических системах, таких как доменная печь, невозможно жестко определить последовательность правильных действий – она часто зависит от мелких деталей в развитии ситуации, к тому же возможны разные пути

достижения поставленных целей. В связи с этим оценку действий обучаемого следует выводить из анализа текущего и желаемого состояний модели и проверки отдельных запрещенных действий и состояний.

Комплексный тренажер разработан на основе достаточно полной и качественной математической модели Института металлургии УрО РАН, описанной в [14] и отражающей следующие особенности физической природы сложного объекта управления – доменного производства: в шахтной печи заданного профиля непрерывным потоком вдоль линий тока движутся навстречу друг другу газ и шихта с заданными начальными температурами; фурменный очаг служит точечным источником газа и стоком материала, а поля скоростей шихты и газа подобны; теплоемкость потока газа, суммарный коэффициент массообмена и суммарный коэффициент теплоотдачи являются функциями координаты, т.е. скорости газа в данной точке; температуры начала размягчения и плавления, кроме химического и минералогического состава, являются еще и функцией степени восстановления.

Такая формулировка задачи позволяет ограничиться включением в математическую модель доменного процесса следующих компонент – математических моделей: балансовой (равновесной) и двумерной, состоящей в свою очередь из моделей газодинамики, теплообмена, восстановления, зоны когезии.

В основе *балансовой (равновесной) математической модели* лежат следующие предпосылки: теплообмен в доменной печи завершен, т.е. на определенной части высоты существует малый перепад температур между газом и шихтой; в определенной зоне печи на стадии восстановления магнетита реакция восстановления вюстита стремится к термодинамическому равновесию. Модель предоставляет персоналу возможность решать системы уравнений для нижней зоны ($t > 700^{\circ}\text{C}$), состоящие из условия термодинамического равновесия, материального баланса углерода и теплового баланса, дополненные тепловым балансом верхней зоны ($t < 700^{\circ}\text{C}$). Результатами расчета являются показатели доменной плавки, характеристики колошникового газа, тепловой баланс нижней зоны, тепловой баланс верхней зоны.

Математическая модель газодинамики основана на следующей предпосылке: в случае двумерного движения газа вектор его скорости в каждой точке направлен по нормали к линиям равного напора и по касательной к линиям равного расхода. Распределение скоростей в плоскости, проходящей через ось фурмы и ось печи, описывается системой дифференциальных уравнений с частными производными, в ходе решения которой получают формулы для расчета скорости газа в любой точке объема доменной печи. Результатами расчета являются выводимые на экран дисплея изображения газодинамической сетки движения, которая является неравномерной, и поля скоростей газа, т.е. значения скоростей в узлах сетки, на основании которой строятся линии равных скоростей.

В основу *математической модели теплообмена* доменной плавки положена известная задача о нагреве слоя при противоточном движении газа и шихты. При этом приняты: граничные условия, отражающие завершенность теплообмена и деление рабочего пространства печи на две зоны, и допущение о подобии полей скоростей шихты и газа, которое позволило пока отказаться от разработки сложнейшей модели движения шихты. Кроме того аналитическим путем получены формулы для расчета температур газа и шихты в любой точке печи. Результатом расчета являются выводимые на дисплей изотермы (линии равных температур) шихты и газа, а также распределения температур шихты и газа в любом горизонтальном или вертикальном сечении, используемые при адаптации модели и для анализа явлений.

В основу *математической модели восстановления* оксидов железа положена система дифференциальных уравнений массообмена и восстановления. Результатом расчета являются поля степеней восстановления железа и концентрационных потенциалов газа.

Математическая модель зоны когезии. Зона когезии (или пластичности) представляет собой область доменной печи, где железорудные материалы находятся в размягченном состоянии,

а кокс – в твердом. Местоположение и форма этой зоны в значительной степени определяют производительность доменной печи.

Использование разработанных математических моделей газодинамики, теплообмена и восстановления с их особенностями приводит к тому, что расчетная форма зоны когезии, ее толщина и положение по высоте печи определяются характером неравномерности температурного поля и температурами размягчения и плавления железорудного материала. С помощью представленной математической модели доменного процесса может производиться расчетное определение влияния качественных характеристик железорудного сырья и кокса, параметров дутья, профиля печи и других входных параметров на характер протекающих явлений и технико-экономические показатели доменной плавки. Важнейшей задачей, которую должен решать мастер доменной печи, является регулирование входных параметров (управляющих воздействий) с целью приведения выходных параметров доменной печи к требуемым. Соответственно, задача достижения заданных выходных величин также должна быть реализована в тренажере. В данном случае тренажер должен предоставить возможность воссоздать почти производственную ситуацию и выполнять имитационные упражнения в ситуации, приближенной к действительности. В результате реализуется исследовательская экспертная игра, в которой участникам – экспертам – предлагается производственная ситуация, а они на основе своего жизненного опыта, своих общих и специальных знаний и представлений принимают решения [12], анализируют их и используют далее для анализа объекта управления (технологического процесса) и проверки правил принятия решений.

Для решения поставленной задачи разработан тренажер, который относится к статическим (логико-динамическим) и представляет собой экспертную систему-советчик по управлению ходом доменной печи. Для воссоздания производственной ситуации в тренажере предлагается использовать стратегическую логическую поведенческую модель печи, которая формируется на основании технологической инструкции, опыта работы и данных математического моделирования [14]. Указанная модель представлена в виде определенного множества пар «состояние – управление» доменной печи, при этом «состояние» определяется выходными параметрами состояния, а «управление» – управляющими воздействиями и, в частности, отклонениями выходных параметров и управляющих воздействий от состояния «норма». Используя указанное множество пар, логическое вычислительное устройство, построенное в виде таблиц или композиции блоков, устанавливает качественные зависимости между выходными параметрами и управляющими воздействиями печи в виде знака отклонения от нормы выходного параметра («больше» или «меньше») и соответствующего этому знаку знака («больше» или «меньше») управляющего воздействия. Кроме того, задается последовательность изменения управляющих воздействий на каждом устанавливаемом шаге управления для приведения к норме выходных параметров. На основании действий данного логического вычислителя в зависимости от состояния печи и формируется совет мастеру-технологу о способе и порядке использования управляющих воздействий. В частности, на каждом шаге управления формируется прогноз поведения печи и ее перехода в следующее состояние, и этот процесс продолжается вплоть до предсказанного установления всех выходных параметров в положение «норма».

В качестве примера в табл. представлена стратегическая логическая модель доменной печи [14]. Построение этой таблицы, выбор управляющих воздействий, возмущающих воздействий и выходных параметров зависит от типа печи, вида выплавляемых чугунов, наличия тех или иных средств инъекции топлива и подачи кислорода и т.д. Аналогичные модели могут представляться в виде системы блоков с соответствующими связями.

В табл. приняты следующие обозначения [14]: $m_j U_j$ – выходные параметры; $n_i U_i$ – управляющие воздействия; r – ранги воздействий; P – производительность печи; S_i – содержание кремния в чугуне; T_k – температура колошника; Δp – общий перепад давления; CO_2 – содержание CO_2 в колошниковом газе; W_k – влажность кокса; V_d – расход дутья; W_d – влажность дутья; T_d – температура дутья; O_{2d} – содержание кислорода в дутье;

$ПГ_{д}$ – расход природного газа или других топливных добавок; $R_{н}$ – рудная нагрузка;
 $E_{д}$ – кинетическая энергия дутья; А и В – типы загрузки, соответственно прямой (РРКК) и
 обратной (ККРР); $У_3$ – уровень засыпи; * – регулирующие воздействия сверху, их
 воздействие на низ печи достигается через 5-6 часов после нанесения воздействия;
 $*^2$ – W_k – влажность кокса здесь рассматривается как помеха (возмущающее воздействие);
 $*^3$ – $E_{д}$ – комплексный показатель, определяемый диаметром фурмы и расходом дутья.

Изменение диаметра фурмы возможно лишь в ремонтный период печи.

В таблице прямые воздействия отражены знаком (+), обратные – знаком (–). Кроме того,
 таблица соответствия устанавливает ранжирование для каждого изменения выходного
 параметра соответствующих управляющих воздействий. Номер ранга (место по значимости
 воздействия) при этом определяется как оптимальный из совокупности двух факторов –
 наибольшей степени значимости влияния данного управляющего воздействия на
 соответствующий выходной параметр и наименьшей степени влияния на все другие
 выходные параметры, кроме рассматриваемого.

Таблица

Соответствие выходных параметров и управляющих воздействий

$m_j U_j$ $n_i U_i$	P	r	Si	r	t_k	r	Δp	r	CO ₂	r	W_k^{*2}	r
$V_{д}$	–	1	+	8	–	7	–	1	+	5	–	6
$W_{д}$	–	5	+	1	–	6	+	5	–	6	–	2
$t_{д}$	–	4	–	2	+	9	–	7	–	7	+	3
$O_{2д}$	–	2	+	4	–	1	+	3	+	10	–	4
$ПГ_{д}$	+	6	–	3	–	3	–	2	–	9	+	5
$R_{н}^*$	–	3	+	5	+	2	–	4	+	1	–	1
$E_{д}^{*3}$	–	10	–	10	+	10	+	10	–	8	+	10
A^*	–	7	+	6	+	4	–	8	+	2	–	7
B^*	+	8	–	7	–	5	+	9	–	3	+	8
$У_3$	+	9	–	9	–	8	+	6	+	4	+	9

Приведенные соотношения также можно использовать для формирования тестовых заданий.
 В результате персонал доменной печи получает возможность обучения способу управления
 доменной печью, использующему логические модели в виде таблиц соответствия выходных
 параметров и управляющих воздействий, что, в свою очередь, способствуют усвоению и
 закреплению навыков управления в режиме реального времени, при возникновении
 нештатных ситуаций, снижению числа аварий и сбоев вследствие ошибок оператора
 обеспечивает повышение оперативности управления доменной печью.

Таким образом, представленная комплексная система оценки и повышения квалификации
 персонала доменного производства является примером решения ряда ключевых задач
 инженерной психологии, а именно может использоваться для профессионального отбора,
 подбора, обучения кадров. Указанная система позволяет не только оценить профессионализм
 работников доменного производства, но и обеспечить необходимую степень
 профессиональной подготовки персонала. В процессе разработки использованы различные
 информационные технологии (технологии применения системного анализа к решению
 сложных задач, принятия решений, использования экспертных систем, инженерии знаний
 (методы извлечения знаний); когнитивного компьютерного моделирования; методов
 экспертных оценок, группового выбора и др.), что позволило предоставить персоналу
 эффективный и экономичный инструмент тестирования и обучения, способствующий
 обеспечению необходимой степени профессиональной подготовки и контроля правильности
 действий, а также достижению необходимого уровня мастерства.

Литература

1. Меньков А.В. Теоретические основы автоматизированного управления / А.В. Меньков, В.А. Острейковский. Учебник для вузов. М.: Издательство Оникс, 2005. 640 с.: ил.
2. Инженерная психология / Психологический словарь. Режим доступа: <http://psi.webzone.ru/st/042000.htm>
3. Научная организация труда / Психологический словарь. Режим доступа: <http://psi.webzone.ru/st/063500.htm>
4. Профессиональный отбор / Психологический словарь. Режим доступа: <http://psi.webzone.ru/st/089000.htm>
5. Психодиагностика / Психологический словарь. Режим доступа: <http://psi.webzone.ru/st/090500.htm>
6. Тесты интеллекта / Психологический словарь. Режим доступа: <http://psi.webzone.ru/st/113800.htm>
7. Тесты достижений / Психологический словарь. Режим доступа: <http://psi.webzone.ru/st/113700.htm>
8. Тесты способностей / Психологический словарь. Режим доступа: <http://psi.webzone.ru/st/114100.htm>
9. Чистов В.П., Захарова Г.Б., Кононенко И.А., Титов В.Г. Компьютерный тренажер для операторов технологических процессов доменного производства // Программные продукты и системы. 2002. № 3. С. 42 – 45.
10. Сучков А.В. Анализ проблемы оценки компетентности персонала доменных печей и предлагаемые пути ее решения / А.В. Сучков // Академия инженерных наук на Урале: научно-практическая и организационная деятельность на рубеже веков. В 4-х т. Т. 4, ч. II. Академия инженерных наук им. А.М. Прохорова – 15 лет. Труды международной научно-практической конференции «Топливно-металлургический комплекс», 23 марта 2007 г. / Под ред В.Г. Лисиенко и Ю.Г. Ярошенко. Екатеринбург: изд-во «Инженерная мысль», 2007. С. 317 – 320.
11. Обозов И.И. Психологическая культура взаимных отношений / И.И. Обозов. М.: Знание, 1986. 48 с.
12. Гаврилова Т.А. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем / Т.А. Гаврилова, К.Р. Червинская. М.: Радио и связь, 1992. 200 с.: ил.
13. Сучков А.В. Подход к разработке компьютерного тренажера для повышения и оценки квалификации персонала доменных печей на основе математической модели / А.В. Сучков, В.Г. Лисиенко // Наука и производство Урала: Сб. трудов межрегиональной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Новотроицк: н-ф МИСиС, 2007. С. 102 – 106.
14. Развитие трехуровневых АСУ ТП в металлургии (коксовые и бескоксовые процессы): Учебное пособие / В.Г. Лисиенко, Е.Л. Суханов, В.А. Морозова, А.Н. Дмитриев, С.А. Загайнов, А.Е. Пареньков / Под ред. В.Г. Лисиенко. М.: Теплотехник, 2006. 328 с.