

АНАЛИЗ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ С ПОЗИЦИЙ ЭКОЛОГИИ ЧЕЛОВЕКА

С.А. Дружилов

Научно-исследовательский институт
комплексных проблем гигиены и
профессиональных заболеваний СО РАН,
г. Новокузнецк

Экология человека и профессиональное здоровье трудящихся

По определению В.П. Казначеева, экология человека — это "комплексная наука, призванная изучать закономерности взаимодействия людей с окружающей средой, вопросы развития народонаселения, сохранения и развития здоровья людей, совершенствования физических и психических возможностей человека" [1].

Важнейшими понятиями в экологии человека является внешняя, по отношению к человеку, *среда и здоровье*. Внешнее окружение включает физическую и социальную среду. Значимой частью бытия человек является трудовая деятельность, а также важнейшая ее составляющая — профессиональный труд. Поэтому особое внимание обратим на влияние *профессиональной среды* на человека.

Профессиональная среда (профсреда) рассматривается автором как система, включающая в себя объект и предметы труда, профессиональные задачи, а также элементы физической, социально-экономической и информационной среды. Профсреда является частью более общего "средового" окруже-

ния, предъявляющего свои требования к адаптации человека в социуме.

Под профессиональной деятельностью будем понимать сложную деятельность, которая предстает перед человеком как конституированный способ выполнения чего-либо, имеющий нормативно установленный характер. Профессиональная деятельность трудна для освоения, требует длительного периода теоретического и практического обучения, приобретения опыта, становления профессионализма как интегрального свойства личности. Это требует от общества значительных материальных затрат. Профессионалы составляют наиболее квалифицированную часть трудового потенциала — предприятия, учреждения, фирмы, страны. Сохранение здоровья профессионалов, их профессионального долголетия, является важнейшей задачей для общества и государства.

Профессиональное здоровье — это способность организма человека сохранять компенсаторные и защитные механизмы, обеспечивающие работоспособность во всех условиях профессиональной деятельности [2]. В качестве критерия профессионального здоровья рассматривается *работоспособность*, кото-



рая определяется как максимально возможная эффективность деятельности специалиста, обусловленная функциональным состоянием его организма, с учетом ее физиологической стоимости [3].

Исследователи признают, что "работники производственных предприятий относятся к специфической группе риска, испытывающей двойную нагрузку внешних неблагоприятных факторов: в условиях среды обитания и в процессе трудовой деятельности" [4]. И те, и другие негативно влияют на профессиональное здоровье рабочих, проявляясь, в первую очередь, в их психической напряженности, которая выступает при оценке эффективности труда в качестве показателя "цены деятельности".

Индикатор отклонения здоровья рабочих

Следствием интенсификации жизни и деятельности человека, ужесточение прессинга со стороны окружающей среды (в том числе, социально-экономической) является постоянное увели-

чение его психических нагрузок. Как следствие, возрастает психическая напряженность — и в повседневной жизни, и на работе, что негативно влияет на здоровье. Психическая напряженность выступает в качестве связующего звена между психологическими воздействиями (профессиональной нагрузкой) и патологическими изменениями в организме. Возникновение психосоматических и соматических заболеваний зачастую является следствием развития состояния хронической психической напряженности.

Можно выделить два подхода, которые могут быть использованы для анализа психической напряженности труда.

Первый подход заключается в оценке факторов производственной среды — загруженности оператора, скорости переработки информации, логической сложности алгоритма управления и интенсивности его выполнения, загруженности в течение рабочей смены и др. Разные составляющие этого подхода в той или иной форме реализуются в инженерной психологии, в эргономике, а также в научной организации труда (НОТ). Кроме того, следует учитывать, что напряженность деятельности может усугубляться агрессивной средой, содержащей вредные химические элементы, пыль, наличием инфракрасных излучений, вибрацией.

Второй подход представляет оценку психической напряженности у рабочего. Специалисты разного профиля оценивают состояние человека исходя из своих специфических профессиональных представлений. В медицине труда, гигиене и физиологии человека исследования направлены на диагностику функциональных состояний человека. Они определяются через уровень и последствия нарушения процессов гомеостатического регулирования в организме и проявляются в совокупности реакций его функций и систем. Напряженность, понимаемая в таком смысле, по мнению Н.Д. Заваловой и В.А. Пономаренко, характеризует в основном вегетативные реакции, сопровождающие поведенческие акты и отражающие

энергетическую сторону адаптации [5].

В представлении специалистов в области психологии труда психическая напряженность (также рассматриваемая как состояние человека в труде) предстает уже не как фон, а представляет собой динамику наблюдаемых характеристик поведения и деятельности человека. И связано это состояние с особенностями целевого и материально-информационного обеспечения труда (в терминах "цель — средство — результат") [6]. При этом состояние психической напряженности вызывается чрезмерными психическими усилиями, необходимыми человеку для решения профессиональных задач (достижения результата) в условиях высокой значимости цели для субъекта и недостаточности средств (как внешних — информации, условий, оборудования, времени, так и внутренних — "неготовность" средств, имеющихся у оператора, в том числе его индивидуальной психической "концептуальной модели" деятельности [7]).

Будем использовать три группы объективных причин, вызывающих затруднения в профессиональной адаптации и возникновение негативных состояний человека в труде: 1) операциональные, связанные с адаптацией к предметной составляющей профсреды; 2) когнитивные, связанные с адаптацией к информационной составляющей профсреды; 3) социально-психологические, связанные с адаптацией к социальной составляющей профсреды. Совокупность этих причин объединены понятием нагрузка [8] или, уточним, применительно к труду операторов (или иных специалистов) профессиональная нагрузка.

Инженерно-психологический анализ профессиональной деятельности операторов

В ходе исследований проводился анализ алгоритмов управления на реверсивных обжимных прокатных станах (блужингах) "1250" Западно-Сибирского (ОАО "ЕВРАЗ ЗСМК") и "1150" Нижне-Тагильского (ОАО "ЕВ-

РАЗ НТМК") металлургических комбинатов при прокатке одностипных слитков по программе обжатий в 11 пропусков с тремя кантовками. Цель анализа заключалась в сравнении количественных характеристик деятельности операторов, управляющих главным электроприводом и сопутствующими механизмами, и операторов манипуляторами стана.

За цикл прокатки слитка операторы-вальцовщики выполняют алгоритм, содержащий от 166 (стан "1150") до 246 (стан "1250") операций. При этом алгоритм включает от 76 (стан "1150") до 92 (стан "1250") логических условий. Алгоритм их "подручных" — операторов манипуляторов стана содержит от 95 до 110 операций, из них 22 — 25 логических.

Результаты осциллографирования показали, что, реализуя алгоритм управления процессом прокатки, операторы блужингов выполняют за час свыше 8 тысяч перемещений органов управления. В табл. 1 приведены некоторые усредненные показатели профессиональной нагрузки операторов станом "1150" и "1250" за стадию обработки слитка (один пропуск металла через валки). В четных пропусках захват металла валками осуществляется вне зоны видимости операторов, что предъявляет повышенные требования к прогнозирующим свойствам психики человека, с одной стороны, и к техническим средствам обеспечения его деятельности — с другой. В таблице не приведено количество движений командоаппаратами при управлении станинными роликами, передними и задними удлинительными рольгангами.

Особенности труда операторов, осуществляющих координацию работы большого числа (4 — 6) механизмов, диктуют необходимость применения специфических методов исследования. Таким методом, представляющим возможность перехода к анализу информационных процессов, является фиксация управляющих действий операторов посредством электронного осциллографа — с сохранением и последующим анализом информации.

Осциллографирование проводилось на станах "1150" и "1250" при прокатке от 12 до 18 однотипных слитков по программе 4×4×2×1. При анализе осциллограмм рассчитывалось среднее число x_i перемещений каждого органа управления за время пропуска металла через валки за время прокатки слитка t_i , дисперсию $\sigma_{x,i}$ числа управляющих движений, их интенсивность, определяемую как число перемещений органов управления в данном пропуске, отнесенное ко времени пропуска, т.е. x_i/t_i .

Деятельность операторов характеризуется относительной стабильностью числа управляющих движений за цикл прокатки слитка, обусловленных нормативно установленной программой прокатки. Вариации числа управляющих движений для операторов-вальцовщиков главного поста управления стана "1250" не превышают 11,9 %, а стана "1150" — 16,3 %. С другой стороны, коэффициент вариации управляющих движений за стадию обработки слитка характеризует степень стохастичности выполняемого алгоритма, которая, в свою очередь, зависит от степени внутренней и внешней неопределенности (энтропии) состояния рассматриваемой человеко-технической системы, обуславливающей стохастический характер управляющих движений оператора, его действий и деятельности в целом. Повышение степени ее неопределенности приводит к частичному изменению структуры сложившегося у оператора двигательного стереотипа и характеризуется повышением психической нагрузки. В качестве меры неопределенности выполняемого алгоритма принята энтропия числа управляющих движений. Отклонение числа управляющих движений от среднего значения в каждом пропуске (а также за цикл прокатки), как показал анализ осциллограмм, подчиняется закону нормального распределения, для которого дифференциальная энтропия связана с квадратом дисперсии $\sigma_{x,i}^2$ следующей зависимостью [9]:

$$S(x) = \log_2(\sigma_{x,i}^2 / 2\pi e)^{1/2},$$

где $S(x)$ — энтропия числа управляющих движений (x) оператора в i -ом пропуске металла че-

Таблица 1. Показатели профессиональной нагрузки (число управляющих движений) операторов обжимных реверсивных прокатных станов

Механизмы	Стан "1250"		Стан "1150"	
	Нечетный (прямой) пропуск n = 31	Четный (обратный) пропуск n = 26	Нечетный (прямой) пропуск n = 47	Четный (обратный) пропуск n = 40
Главный электропривод клетки	3,94 ± 1,37	3,85 ± 1,07	3,32 ± 1,19	3,68 ± 1,61
Нажимное устройство	2,68 ± 1,42	2,38 ± 0,85	3,11 ± 1,08	2,55 ± 0,90
Общая загрузка оператора-вальцовщика	9,97 ± 2,99	10,31 ± 2,40	9,43 ± 2,00	8,68 ± 2,50
Манипуляторы клетки стана:				
правая линейка	4,47 ± 1,26	4,23 ± 1,62	3,70 ± 2,32	3,57 ± 2,26
левая линейка	4,09 ± 1,70	5,56 ± 1,69	3,72 ± 2,70	2,40 ± 1,43
Общая загрузка оператора манипуляторов	10,32 ± 2,90	10,73 ± 2,19	7,84 ± 3,39	6,82 ± 2,79

рез валки клетки стана; e — основание натурального алгоритма; π — иррациональное число "пи" — математическая константа; \log_2 — логарифм по основанию 2.

Изменение энтропии как меры неопределенности числа управляющих движений при переходе от предыдущего к последующему пропуску, измеряемой в двоичных единицах (битах), вычисляется следующим образом:

$$\Delta S_i(x) = S_{i+1}(x) - S_i(x) = \log_2(\sigma_{x,i+1}/\sigma_{x,i}),$$

а в процентах:

$$\Delta S_i(x), \% = 100 \cdot \Delta S_i(x) / S_i(x).$$

Изменение энтропии для каждого из 11 пропусков цикла прокатки слитка на стане "1250" представлено в верхней части диаграммы (см. рисунок). Заштрихованные части диаграммы показывают относительное изменение энтропии для стана "1150".

На этом же рисунке изображена диаграмма усредненной для каждого из 11 пропусков металла через валки интенсивности (x_i/t_i) управляющих движений операторов-вальцовщиков стана "1250". Из сравнения диаграмм видно, что уменьшение относительной энтропии $\Delta S_i(x)$, %, приводит к увеличению интенсивности управляющей деятельности оператора. Это подтверждают коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (r_s) между относительным изменением энтропии $\Delta S_i(x)$, %, числа управляющих движений и их интенсивностью $r_s = -0,693$ и между абсолютным значением дифференциальной энтропии $\Delta S_i(x)$ числа управляющих движений i -го пропуска и их интенсивностью $r_s = -0,818$. С другой стороны, от-

носительное изменение энтропии от пропуска к пропуску положительно коррелирует с величиной относительного изменения времени $\Delta t_i = (t_{i+1} - t_i)/t_i$ прокатки в данном пропуске металла через валки по сравнению с предыдущим ($r_s = 0,664$).

Проведенные исследования позволяют утверждать, что по мере прокатки слитка оператор непрерывно уточняет информацию о характеристиках прокатываемого металла, согласовывает с ней свою управляющую деятельность, что приводит к относительной стабилизации энтропии системы "оператор — прокатный стан — обрабатываемый слиток". Уменьшение относительной энтропии по мере прокатки слитка приводит к увеличению точности управляющих движений и снижению их интенсивности.

Психологические исследования деятельности операторов

В исследовании принимали участие 15 операторов стана "1250" и 14 операторов стана "1150" (работающих на главном посту управления блюмингом), а также 12 операторов непрерывного среднесортного стана "450". Все операторы имеют высокий (не ниже шестого) квалификационный разряд. Проводилось их анкетирование (с использованием специально разработанного опросника) с целью выявления отношения к объективным факторам профсреды (операционным, когнитивным, социальным, психологическим).

Основной функцией операторов станов "1250" и "1150" является координация работы механизмов прокатного стана в условиях

Таблица 2. Оценка составляющих профессиональной нагрузки операторов

Прокатный стан	Виды рабочей нагрузки операторов		
	Операционная	Когнитивная	Социально-психологическая
"1250"	63,98	59,82	18,05
"1150"	75,96	68,64	21,66
"450"	16,12	34,73	19,27

принудительного ритма, что обуславливает высокую двигательную активность. У операторов непрерывного прокатного стана "450" основная функция деятельности сводится к ожиданию пускового сигнала (бдительность), суть которой заключается в обнаружении отклонений технологического режима и их устранении.

Таким образом, есть возможность сравнить психическую напряженность операторов-прокатчиков, деятельность которых имеет принципиальные различия (при управлении реверсивным и непрерывным станом), используя при этом единую систему. Индексы составляющих профес-

сиональной нагрузки рассчитывали с использованием шкалы от 0 до 100 баллов.

Доминирующие виды профессиональной нагрузки. Результаты анкетирования операторов идентичных постов управления станом "1250" и "1150" показали, что доминирующей для данной категории работников является операционная и когнитивная составляющие нагрузки, определяющие формирование психической напряженности; при этом операторы непрерывного среднесортного стана "450" оценивают свою когнитивную нагрузку более чем в 2 раза выше, чем операционную. На всех трех прокатных станках анкетные оп-

росы операторов показали, что социально-психологические факторы не являются определяющими, но оказывают косвенное влияние на формирование психической напряженности. Вместе с тем неблагоприятные социально-психологические условия в коллективе могут выступать как факторы, провоцирующие развитие заболеваний и негативно влияющие на их протекание. В табл. 2 приведена оценка профессиональной нагрузки операторами разных прокатных станков.

Более высокая производительность стана "1250" по сравнению со станом "1150", обусловленная большим весом раската и повышенной скоростью прокатки, а также возможные пробуксовки валков при захвате металла предопределяют повышенные требования к операторам. Это отражается на оценке ими операциональной и когнитивной составляющих нагрузки. Повышение профессиональной нагрузки вызывает у операторов состояние психической напряженности, неудовлетворенности организацией труда.

Напряженность психических функций. Специфика условий труда операторов прокатных станков вызывает усиление адаптационных процессов организма человека, объективным выражением которых является напряжение определенных психических и физиологических функций. Чрезмерное напряжение этих функций организма может привести к возникновению стрессовых состояний человека. В качестве показателя напряженности использовался коэффициент вариации (C_v , %) признака анализируемой психической функции (пульса, тремора рук, распределения и концентрации внимания и других), многократно замеряемого у операторов в течение рабочей смены. Диапазон коэффициента вариации (C_v , %) признака высокой напряженности выше 20 % соответствует высокой напряженности; от 10 до 20 % — средней, менее 10 % — низкой напряженности [10].

Психофизиологический уровень. У операторов реверсивных обжимных прокатных станков в условиях доминирующей операционной нагрузки напряженность проявляется главным об-

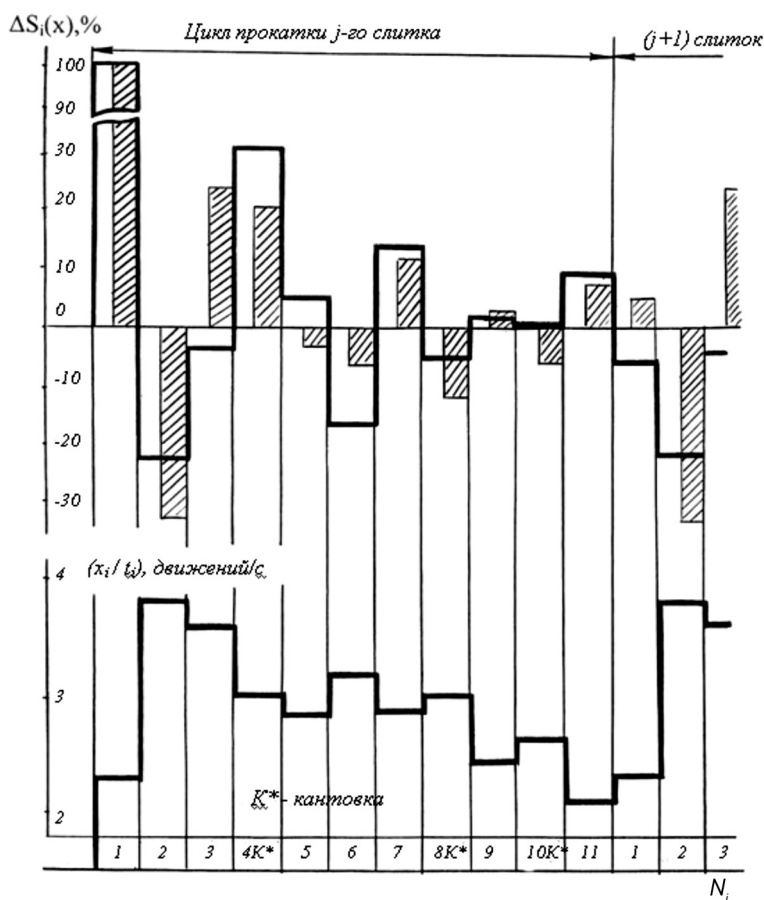


Диаграмма изменения относительной энтропии $\Delta S_i(x)$ (а) и интенсивности (x_i/t_i) управляющих движений (б) оператора-вальцовщика в процессе прокатки слитка (N_i — номер пропуска металла через валки стана)

разом на психофизиологическом уровне — в показателе тремора рук и частоты пульса. Обнаружена более высокая напряженность пульса у операторов блюминга "1250" ($11,2 \pm 2,05$) по сравнению с операторами блюминга "1150" ($C_v = 8,03 \pm 3,63$) и операторами непрерывного стана "450" ($C_v = 5,83 \pm 2,68$); по критерию Стьюдента различия достоверны с вероятностью $p > 0,9$). Показатели тремора отражают другую тенденцию. Большая напряженность этой характеристики наблюдается у операторов стана "450" ($C_v = 49,34 \pm 15,63$) по сравнению с операторами стана "1150" ($C_v = 46,01 \pm 17,76$) и "1250" ($47,20 \pm 16,12$). Полученные значения свидетельствуют о повышенном уровне активации физиологических систем организма.

Психологический уровень. На этом уровне наибольшее различие наблюдается в показателях распределения внимания у старших операторов-вальцовщиков (для стана "1150" $C_v = 36,1 \pm 9,8$, а для стана "1250" $C_v = 24,3 \pm 11,8$) и операторов стана "450" ($C_v = 15,1 \pm 4,15$); $p > 0,99$). Операторам блюмингов приходится постоянно удерживать в поле зрения большое количество объектов (положение и скорость вращения валков, манипуляторы, положение заготовки перед рабочей клетью и за ней и т.д.). Однако деятельность операторов стана "450" сопряжена с повышенной концентрацией внимания ($C_v = 21,8 \pm 10,66$) по сравнению с управляющей деятельностью операторов блюминга ($C_v = 14,05 \pm 8,39$; $p > 0,95$).

Таким образом, сравнение показателей напряженности операторов позволило установить, что повышение операционной нагрузки за счет высокой двигательной активности операторов проявляется через психофизиологическую напряженность и непосредственно сказывается на функционировании сердечно-сосудистой системы (показатель частоты пульса). В свою очередь, повышение нагрузки за счет концентрации внимания также (характерно для операторов непрерывных станов) проявляется на психофизиологическом уровне, но в

этом случае задействованы другие функции организма. Имеет место повышение общего уровня активации физиологических систем, что подтверждает высокий уровень напряженности тремора рук. Все это является признаками высокой "цены" деятельности.

При этом сохранение результативности деятельности, производительности труда происходит за счет истощения

внутренних ресурсов и влечет за собой потенциальную и реальную опасность нанесения ущерба здоровью человека. Чем выше "цена" деятельности и чем большей мобилизацией физиологических и психологических ресурсов она поддерживается, тем больше будет отсроченная во времени "расплата", выражающаяся в ухудшении показателей здоровья работающего человека.

Проводимые мероприятия по модернизации металлургического производства направлены на реализацию прогрессивных тенденций. Они сводятся к уменьшению использования реверсивных обжимных прокатных станов путем перехода на непрерывное литье заготовок с последующей прокаткой готовой продукции. При этом возрастает доля высокоскоростных автоматизированных полунепрерывных и непрерывных прокатных станов. Примером реализации этой прогрессивной тенденции является модернизация предприятий холдинга "Евраз" с ликвидацией обжимных реверсивных станов, внедрением высокоавтоматизированных линий прокатки стометровых рельсов. Однако, несмотря на наличие автоматических систем, полностью человек не может быть устранен из контура управления прокаткой. Приведенные результаты исследований показывают, что интеллектуализация (включая компьютерное обеспечение) труда операторов прокатных станов, уменьшение их двигательной активности еще не означает снижения их психической нагрузки, меняется лишь ее характер. Поэтому снижение психической напряженности, сохранение здоровья операторов прокатного производства, обеспечение "экологичности" проводимых реконструкций является значимой проблемой, в решении которой должны быть задействованы разные не только инженеры-разработчики, но и специалисты в области психологии труда, гигиены и медицины труда.

Литература

1. Казначеев В.П. Проблемы экологии человека. М.: Наука, 1986.
2. Пономаренко В.А. Психология жизни и труда летчика. М: Воениздат, 1992.
3. Шостак В.И. Профессиональное здоровье // Психология профессионального здоровья: учеб. пособие / Под ред. Г.С. Никифорова. СПб.: Речь, 2006.
4. Специфичность иммунного ответа на действие различных производственных факторов / В.В.Захаренков, А.С. Казицкая, Т.К. Ядыкина, Д.В. Фоменко, Е.Н. Масленникова // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2010. № 4 (74).
5. Завалова Н.Д., Пономаренко В.А. Психические состояния в особых условиях деятельности // Психологический журнал. 1983. № 6.
6. Дружилов С.А. Экология человека и профессиональное здоровье трудящихся: психологический подход // Международный журнал экспериментального образования". 2012. № 12 (часть 1).
7. Дружилов С.А. Обобщенный (интегральный) подход к обеспечению становления профессионализма человека // Психологические исследования: электронный научный журнал. 2012. № 1 (21). URL: <http://www.psystudy.ru/index.php/num/2012n1-21/621-druzhilov21.html> .
8. Галыгин В.Ф., Филиппов А.В., Хван А.А. Профессиональная нагрузка и психическая напряженность операторов-металлургов // Психологический журнал. 1991. № 5.
9. Кульбак С. Теория информации и статистика / Пер с англ.; под ред. А.Н. Колмогорова. М.: Наука, 1967.
10. Бондаровская В.М. Исследование информационного взаимодействия технолога-программиста с ЭВМ // Методология инженерной психологии, психологии труда и управления. М.: Наука, 1981. ■