На правах рукописи

Прокошина Татьяна Сергеевна

УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ И ОХРАНЫ ТРУДА ОПЕРАТОРА-СТАНОЧНИКА АПК ЗА СЧЕТ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ КОМПОНОВКИ РАБОЧЕГО МЕСТА

Специальность 05.26.01 – Охрана труда (АПК) (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт- Петербург
2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина» (ФГБОУ ВО Орловский ГАУ)

Научный руководитель – **Гальянов Иван Васильевич,**
доктор технических наук, профессор,
заместитель директора по научной работе
Всероссийского научно-исследовательского
института социального развития села ФГБОУ
ВО Орловский ГАУ

Официальные оппоненты – **Буглаев Анатолий Михайлович**
доктор технических наук, профессор кафедры
триботехнического материаловедения и
технологии материалов ФГБОУ ВО «Брянский
государственный технический университет»

Бутримова Елена Владимировна
кандидат технических наук, доцент кафедры
инженерной экологии и безопасности
жизнедеятельности ФГБОУ «Московский
государственный технологический
университет «СТАНКИН»

Ведущая организация – **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»**

Защита состоится « » 2017 г. в 13 часов 30 минут на заседании объединенного совета по защите диссертаций Д 999.085.02 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», ГНУ СЗНИИМЭСХ РАСХН по адресу: 196601, Санкт-Петербург-Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2, ауд. 719, корпус 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», а также на сайтах http://vak.ed.gov.ru, http: //spbgau.ru

Автореферат разослан « »_____2017г.

Ученый секретарь объединенного совета по
защите диссертаций,
д-р техн. наук, профессор А.А. Попов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. По критерию травматизма одним из травмоопасных секторов в АПК РФ является техническое обслуживание и ремонт сельскохозяйственных машин и оборудования. Такому положению способствует ряд причин, таких, как моральное и физическое старение производственного оборудования, неудовлетворительная компоновка рабочего места, эксплуатация неисправного оборудования и отсутствие контроля за состоянием условий и охраны труда.

По данным Орелстат на начало 2016 г. в Орловской области зарегистрировано 1091 предприятие сельскохозяйственной ориентации. Большинство этих предприятий и организаций оснащено ремонтными мастерскими, в которых профессия оператора-станочника является распространенной. Для работы оператора-станочника характерны ручные операции с локальными статическими усилиями при вынужденном рабочем положении. Анализ структуры заболеваемости станочников показал, что значительное место среди профессиональных болезней занимают заболевания опорно-двигательного аппарата (46%). Профессиональная патология станочников и развитие у них производственного утомления зависят от различных факторов труда, одним из которых можно назвать нерациональное рабочее положение, обусловленное несоответствием компоновочных параметров рабочего места антропометрическим размерам оператора, в частности, несоответствием расположения органов управления (ОУ) относительно оператора.

В настоящее время существуют разные научные подходы к обоснованию оптимального рабочего положения, способствующего снижению мышечной нагрузки и утомления, уменьшению вероятности возникновения профессиональных заболеваний. Улучшение условий и охраны труда оператора-станочника за счет рационализации компоновки рабочего места является актуальной научной проблемой, требующей проведения научных исследований.

Цель исследования – улучшение условий и охраны труда оператора-станочника АПК за счет рационализации компоновки рабочего места.

Объектом исследования являются условия труда оператора-станочника.

Предметом исследования являются параметры системы «оператор-станочник – универсальный токарно-винторезный станок».

Научная новизна исследований:

- Теоретически исследована с точки зрения биомеханики работа оператора-станочника и разработаны уравнения сил, действующих на плечевой сустав оператора при вращении рукоятки.

- Получены теоретические зависимости оптимальных компоновочных параметров рабочего места, характеризующие взаимное расположение центра вращения рукоятки и плечевого сустава оператора-станочника, и радиуса рукоятки от момента сил сопротивления вращению, использование которых обеспечит работу станочника с органами управления с приложением допустимых усилий.

- Разработаны корреляционно-регрессионные модели взаимосвязи признаков «досягаемость руки, отведенной в сторону», «высота плеча над полом» и «высота локтя над полом» от признака «рост» оператора-станочника с возможностью их использования при проектировании компоновки рабочего места.

Практическую значимость представляют:

- оптимальные значения компоновочных параметров, определяющих положение плечевого сустава относительно центра вращения рукоятки перемещения пиноли задней бабки универсального токарно-винторезного станка, для операторов-станочников, имеющих антропометрические признаки, соответствующие 1-му, 5, 50, 95 и 99-му перцентилям, обеспечение которых способствует повышению производительности труда и улучшает функциональное состояние организма оператора;

- числовые значения антропометрических признаков, соответствующих 1-му, 5, 50, 95 и 99-му перцентилям, использование которых позволит спроектировать компоновку рабочего места, удовлетворяющую 99% операторов;

– запатентованное инженерно-техническое решение, позволяющее обеспечить рациональное рабочее положение оператора-станочника, характеризуемое оптимальными компоновочными параметрами рабочего места оператора.

На защиту выносятся:

- зависимости компоновочных параметров рабочего места оператора-станочника, характеризующих взаимное расположение плечевого сустава оператора-станочника и центра вращения рукоятки, и радиуса рукоятки от момента сил сопротивления вращению, а также установленные значения оптимального положения плечевого сустава относительно центра вращения рукоятки перемещения пиноли задней бабки универсального токарно-винторезного станка;

– результаты исследования антропометрических признаков «досягаемость руки, отведенной в сторону», «высота плеча над полом», «высота локтя руки над полом» и «рост», соответствующие 1-му, 5, 50, 95 и 99-му перцентилям и полученные регрессионные модели корреляционных связей;

– результаты анализа рабочего места оператора-станочника универсального токарно-винторезного станка и результаты соматографических исследований;

– инженерно-технические решения обеспечения пространственно-антропометрического соответствия между размерными данными оператора-станочника и ОУ металлообрабатывающего станка;

– результаты экспериментальных исследований влияния рабочего положения оператор-станочник, обеспеченного компоновочными параметрами рабочего места, на функциональное состояние и эффективность трудовой деятельности оператора-станочника;

– результаты регрессионного анализа взаимосвязи между производительностью труда, индексом Робинсона оператора-станочника и компоновочными параметрами, характеризующими положение плечевого сустава оператора-станочника относительно центра вращения рукоятки, во время работы.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований внедрены в ООО «Строймехкомплект» (г. Орел), ООО «Орловская металлообрабатывающая компания», приняты к внедрению ЗАО «Агропромышленный Холдинг-Верховье» Орловской области, а также используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

– международных научно-практических конференциях Орел, ОрелГАУ, 2013, Москва, ГОСНИТИ, 2011, 2013, 2015, Санкт-Петербург, СПбГАУ, 2015.

– Всероссийских научно-практических конференциях Орел, ОрелГАУ, 2014, 2015.

Публикации. По материалам работы опубликовано 12 работ, в том числе 7 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получен 1 патент на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы из 196 наименований и 6 приложений. Работа изложена на 211 страницах машинописного текста, включает 40 рисунков, 20 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы научная и практическая новизна, изложены положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу современного состояния вопроса, определению цели и задач исследования. По работам В.С. Шкрабака, В.П. Горячкина, И.В. Гальянова, С.В. Белова, А.Н. Строкиной, В.М. Мунипова, В.П. Зинченко, Л.П. Бобровой-Голиковой, П.Г. Митрофанова, Б.Ф. Ломова и др. изучены физиологические аспекты труда оператора-станочника, проведен анализ методов оценки рабочего места, анализ решений проблемы совместимости ОУ станка и антропометрических данных оператора-станочника.

В процессе анализа материалов базы данных травматизма в АПК РФ установлено преобладание «человеческого фактора» в происхождении несчастных случаев при работе на металлообрабатывающих станках, выраженного высокими значениями коэффициентов опасности (0,47) и тяжести (0,55). Анализ заболеваемости станочников выявил преобладание в структуре заболеваемости болезней от физических перенапряжений. Среди различных форм профессиональных болезней станочников 46% приходится на заболевания опорно-двигательного аппарата. Более 60% этих заболеваний относятся к заболеваниям верхних конечностей и обусловлены физическим напряжением при работе в условиях нерациональной рабочей позы. Анализ научных работ позволяет утверждать, что одной из причин несчастных случаев и профессиональной заболеваемости является утомление мышечной системы оператора-станочника. Утомление может развиться из-за нерациональной компоновки рабочего места, обусловленной несоответствием его компоновочных параметров, а именно пространственного расположения ОУ оборудования, антропометрическим данным оператора-станочника. Результатом указанного несоответствия является формирование режима труда, который характеризуется значительными физическими нагрузками, необходимыми для обеспечения рабочего положения оператора-станочника. Последнее обосновывает проведение оценки условий труда и компоновки рабочего места оператора-станочника. Отметим, что во многих организациях АПК для выполнения станочных работ по ремонту и техническому обслуживанию техники широко используются универсальные токарно-винторезные станки.

Для снижения негативного влияния нерациональной компоновки рабочего места путем обеспечения пространственно-антропометрического соответствия размерных данных оператора-станочника и ОУ универсального токарно-винторезного станка сформулированы следующие **задачи научного исследования**:

1. Выполнить биомеханический анализ работы оператора-станочника с вращательной рукояткой и разработать уравнения сил, действующих на плечевой сустав оператора.

2. Выявить зависимости оптимальных компоновочных параметров рабочего места, характеризующих взаимное расположение центра вращения рукоятки и плечевого сустава оператора-станочника, и радиуса рукоятки от момента сил сопротивления вращению, а также установить оптимальное положение плечевого сустава для операторов-станочников, имеющих антропометрические признаки, соответствующие 1-му, 5, 50, 95 и 99-му перцентилям относительно центра вращения рукоятки перемещения пиноли задней бабки универсального токарно-винторезного станка.

3. Провести антропометрические исследования признаков «досягаемость руки, отведенной в сторону», «высота плеча над полом», «высота локтя руки над полом» и «рост».

4. Выполнить анализ рабочего места оператора-станочника универсального токарно-винторезного станка и методом соматографии оценить пространственно-антропометрическое соответствие расположения ОУ станка и размерных данных станочника.

5. Предложить инженерно-технические решения обеспечения пространственно-антропометрического соответствия между размерными данными оператора-станочника и ОУ универсального токарно-винторезного станка.

6. Экспериментально получить оптимальные значения компоновочных параметров (H, L), определяющих положение плечевого сустава оператора станочника относительно центра вращения рукоятки, при которых повышается производительность труда и улучшается показатель соматического здоровья оператора-станочника (индекс Робинсона).

Во второй главе проведены с точки зрения биомеханики теоретические исследования работы оператора-станочника, управляющего металлообрабатывающим станком посредством рукоятки. Для выполнения теоретических расчетов построена кинематическая схема (рисунок 1), моделирующая работу станочника с рукояткой, вращение которой осуществляется всей рукой (в совместную работу включены мышцы кисти, предплечья и плеча), а также введены допущения: кисть и предплечье рассматриваются как одно целое; плечевой сустав неподвижен; момент сил сопротивления вращению рукоятки есть величина постоянная.

Приняты следующие обозначения: l_1 и l_2 – длина предплечья и плеча соответственно; R – радиус вращения рукоятки; φ – угол поворота рукоятки; α – угол, образуемый предплечьем и горизонталью; β – угол, на который отклоняется плечо от вертикали; O – центр вращения рукоятки; B – локтевой сустав; D – плечевой

сустав; C_1, C_2 – центр масс предплечья и плеча соответственно; M_1, M_2 – масса предплечья и плеча соответственно; ω – угловая скорость вращения рукоятки; H и L – компоновочные параметры взаиморасположения плечевого сустава и центра вращения рукоятки, соответственно вертикальное и горизонтальное расстояние.

В результате кинематического расчета получены зависимости углов α и β от угла поворота рукоятки φ и параметров H и L, определяющих положение плечевого сустава D относительно центра вращения рукоятки O. Определены мгновенные угловые скорости предплечья и плеча (формулы 1, 2), угловое ускорение плеча ε_2 (формула 3).

На основе полученных формул установлены расчетные зависимости горизонтальной P (опрокидывающей) и вертикальной Q сил, действующих в плечевом суставе оператора-станочника при вращении рукоятки (формула 4, 8).

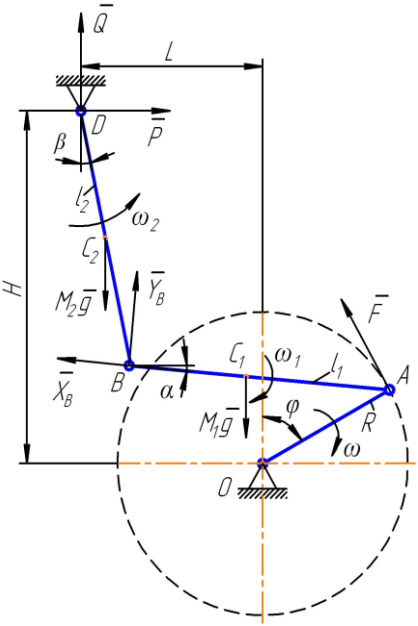


Рисунок 1 – Кинематическая схема.

При расчетах учитывали, что направленная перпендикулярно к плечевому суставу горизонтальная сила P стремится опрокинуть тело, выводя его из состояния равновесия. Человек пытается сохранить устойчивое положение путем сокращений скелетных мышц. Такая работа сопровождается энергетическими затратами и вызывает утомление. При сопротивлении вертикальной силе Q, приподнимающей плечевой сустав, человек использует вес собственного тела. Таким образом, приняли, что наилучшие условия труда такие, при которых опрокидывающая горизонтальная сила P оказывает минимальное воздействие.

$$\omega_1 = \frac{\omega R}{l_1} \cdot \frac{\sin(\varphi+\beta)}{\cos(\alpha+\beta)} \tag{1}$$

$$\omega_2 = \frac{\omega R}{l_2} \cdot \frac{\cos(\varphi-\alpha)}{\cos(\alpha+\beta)} \tag{2}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\omega R}{l_2 \cos^2(\alpha+\beta)} \cdot [(\omega_1+\omega_2)\cdot\sin(\alpha+\beta)\cdot\cos(\varphi-\alpha)+(\omega_1-\omega)\sin(\varphi-\alpha)\cos(\alpha+\beta)] \tag{3}$$

$$P = -X_B\cos\alpha - F_{X1}^u + Y_B\sin\alpha \tag{4}$$

$$F_{X1}^u = \frac{1}{2}M_2 l_2\left(-\varepsilon_2\cos\beta+\omega_2^2\sin\beta\right) \tag{5}$$

$$X_B = M_1\left[\omega^2 R\sin(\varphi-\alpha)-\omega_1^2\frac{l_1}{2}+g\sin\alpha\right]-F\cos(\varphi-\alpha). \quad (6)$$

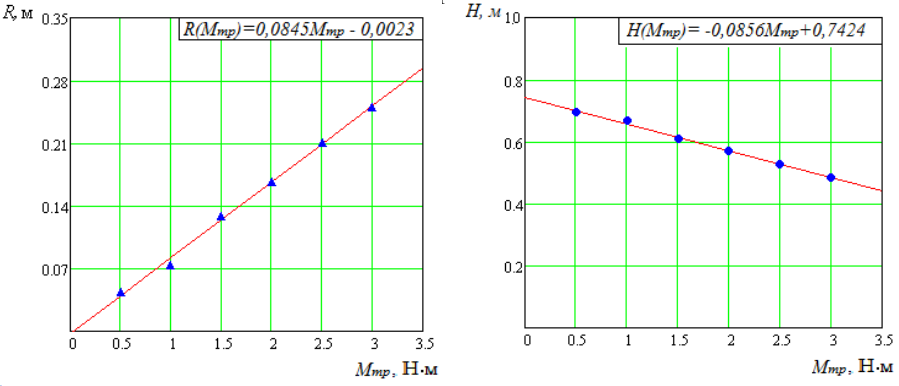
$$Y_B = \frac{1}{2}F\sin(\varphi-\alpha)+\frac{M_1}{4}\left[g\cos\alpha-\omega^2 R\cos(\varphi-\alpha)\right] \quad (7)$$

где X_B – горизонтальная сила в локтевом суставе; Y_B – вертикальная сила в локтевом суставе; F^{u}_{X1} – сила инерции.

$$Q = X_B\sin\alpha+Y_B\cos\alpha+M_2\left[g-\frac{l_2}{2}\left(\varepsilon_2\sin\beta+\omega_2^2\cos\beta\right)\right] \quad (8)$$

Используя формулы 4, 5, 6, 7, 8, с помощью программного комплекса Mathcad произведен расчет, в результате которого установлено, что горизонтальная сила P имеет всегда отрицательное значение и оказывает максимальное опрокидывающее воздействие при углах поворота рукоятки φ от 2,2 до 3,2 рад.

Далее, используя Mathcad, получили значения параметров H, L и R, при которых опрокидывающая сила P, воспринимаемая оператором-станочником, оказывает минимальное воздействие. Для этого задавали пределы изменения и начальные приближения переменных. При расчетах силу F в формуле 4 заменяли моментом сил сопротивления вращению M_{mp} и принимали φ = const. Значения угла φ и пределы изменения величины M_{mp} задавали для различной частоты использования рукоятки в рабочую смену (в соответствии с ГОСТ 21752). Расчет проводился для средних значений угла φ. Для рукояток с частотой использования 960…241 раз в смену задавали M_{mp} = 0,5…3 Н·м, φ = 2,8 рад.; для интервала частоты использования 240…17 раз в смену – M_{mp} = 1…8 Н·м, φ = 2,5 рад. В результате получены линейные зависимости $H(M_{mp})$, $L(M_{mp})$, $R(M_{mp})$ для рукояток с частотой использования 960…241 (рисунок 2) и 240…17 раз в смену, анализ которых позволил утверждать, что при увеличении M_{mp} следует увеличивать радиус рукоятки R и сокращать вертикальное расстояние H от центра ее вращения.



а б

Рисунок 2 – Зависимости оптимальных параметров от момента сил сопротивления вращению рукояток частотой использования 960…241 раз за смену:
а – радиус R; б – компоновочный параметр H (вертикальное расстояние от центра вращения рукоятки до плечевого сустава).

Для универсального токарно-винторезного станка с помощью программного комплекса Mathcad теоретически установлено оптимальное положение плечевого сустава оператора-станочника относительно центра вращения часто используемой рукоятки перемещения пиноли задней бабки, определяемое компоновочными параметрами *H* и *L*, с учетом антропометрических признаков указанных перцентилей (таблица 1). Проектирование компоновки рабочего места с учетом полученных значений, позволит создать условия труда, характеризующиеся меньшими затратами энергии и мышечными напряжениями.

В третьей главе изложена методика и условия проведения экспериментов, приборы и оборудование, применяемые при экспериментальных исследованиях.

Антропометрические параметры получали путем измерения четырех антропометрических признаков человека в положении стоя: «рост», «досягаемость руки, отведенной в сторону», «высота плеча над полом», «высота локтя руки над полом». Было измерено 500 человек. Исследуемый контингент лиц состоял из мужчин русской национальности в возрасте от 20 до 55 лет. Результаты проведенных измерений обрабатывались вариационно-статистическим методом. Принятый тип теоретического распределения оценивался на соответствие эмпирическому с помощью критерия согласия Колмогорова. При анализе эмпирического распределения применялись показатели асимметрии и эксцесса. Определялись значения признаков, соответствующие определенным перцентилям (P_j). Для выявления корреляционной связи между исследуемыми антропометрическими признаками выполнялся корреляционно-регрессионный анализ с использованием программного комплекса Mathcad.

Анализ рабочего места оператора-станочника универсального токарно-винторезного станка (на примере станка модели 1В62Г), изготавливающего деталь типа «вал», выполняли в последовательности: динамический анализ, хронометражные исследования, позиционный анализ. В ходе проведения динамического анализа, наблюдая за работой станочника, проанализировали совершаемые им рабочие действия и приемы с функционально-анатомической точки зрения. Анализ проводили с помощью видеосъемки цифровой камерой SONY HDR-PJ530E. Величину усилия, прилагаемого к рукоятке поперечной подачи и рукоятке перемещения пиноли задней бабки, определяли прибором НИИАТ-К402. Хронометражные наблюдения выполнялись для установления характера использования ОУ станка. Фиксацию времени осуществляли секундомером СДСпр-1-2-000. В процессе позиционного анализа фиксация основных рабочих положений оператора-станочника осуществлялась с помощью видеосъемки цифровой видеокамерой SONY HDR-PJ530E и фотосъемки фотокамерой Canon EOS 600D.

Метод соматографии использовали для установления соответствия расположения ОУ токарно-винторезного станка антропометрическим данным оператора-станочника путем построения соматографических схем. Анализируя полученные соматографические схемы, определяли: обеспечивает ли расположение ОУ удобное рабочее положение оператора-станочника.

Экспериментальные исследования проводили для выявления влияния рабочего положения на функциональное состояние оператора-станочника и на эф-

фективность его труда, путем определения среднесменных показателей, полученных до и после реализации мероприятий по рационализации компоновки рабочего места. Функциональное состояние станочника, которое отражает соматическое здоровье и характеризуется текущим состоянием органов и систем организма, оценивали с помощью гемодинамического показателя – индекс Робинсона (двойное произведение), определение которого проводили с использованием системы бифункционального мониторирования Cardio Tens и программы Medibase 1.40. Производительность труда определяли подсчетом количества изготавливаемых деталей за час работы.

Экспериментальные исследования проводили для установления характера влияния компоновочных параметров *H* и *L*, определяющих положение плечевого сустава оператора-станочника относительно центра вращения рукоятки перемещения пиноли задней бабки, на производительность труда станочника и уровень его соматического здоровья. Полученные экспериментальные данные анализировали с помощью программного комплекса Mathcad.

В четвертой главе приведены результаты обработки эмпирического антропометрического материала и результаты корреляцинно-регрессионного анализа, результаты анализа рабочего места оператора универсального токарно-винторезного станка, результаты влияния компоновки рабочего места на его функциональное состояние и производительность труда.

В результате обработки данных антропометрических измерений определены основные статистические характеристики количественной изменчивости значений исследуемых признаков. На незначительную изменчивость эмпирического материала указывает коэффициент вариации, значения которого для всех измеренных признаков не превышают 10%, и относительная ошибка средней, значение которой находится в пределах от 0,15 до 0,23%. Полученные статистические характеристики и графическое изображение распределений позволили выявить основные закономерности варьирования результатов. Для характеристики эмпирического распределения выбрали тип теоретического распределения – нормальное распределение. Проверка гипотезы о соответствии теоретического закона распределения, показала, что принятый закон нормального распределения отражает основные черты опытных данных.

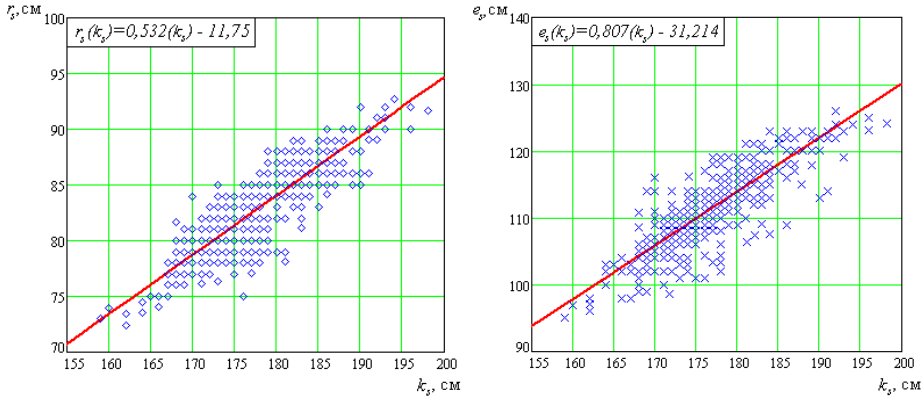
При анализе эмпирического распределения каждого антропометрического признака определены величины асимметрии и эксцесса. Значения коэффициентов асимметрии (от минус 0,11 до плюс 0,31) и эксцесса (от минус 0,41 до плюс 0,18) свидетельствуют о несущественном отклонении распределения от нормального, что также подтверждается показателем погрешности, который во всех случаях меньше 5%. Для исследуемых антропометрических признаков определены значения 1-го, 5, 50, 95 и 99-го перцентилей (таблица 2).

Корреляционно-регрессионный анализ выявил существование высокой степени связи между исследуемыми антропометрическими признаками, подтвержденной значениями коэффициентов корреляции *r*, находящихся в пределах от 0,75 до 0,99. Полученные корреляционно-регрессионные модели приближенно выражают зависимость результативных признаков «досягаемость руки, отведен-

ной в сторону» r_s, «высота плеча над полом» s_s и «высота локтя руки над полом» e_s от факторного «рост» k_s (рисунок 3).

Таблица 2 – Значения признаков соответствующих перцентилей

Антропометрический признак	P_1	P_5	P_{50}	P_{95}	P_{99}
Рост, см	159	167,9	177,1	188,8	194,2
Досягаемость руки, отведенной в сторону, см	71,6	76,7	82,9	89,6	91,8
Высота плеча над полом, см	132	138,2	146,8	158,4	163,3
Высота локтя руки над полом, см	97,5	102,1	112	121,9	124,4



а б

Рисунок 3 – Регрессионная зависимость от роста: а – досягаемость руки, отведенной в сторону; б – высота локтя руки над полом.

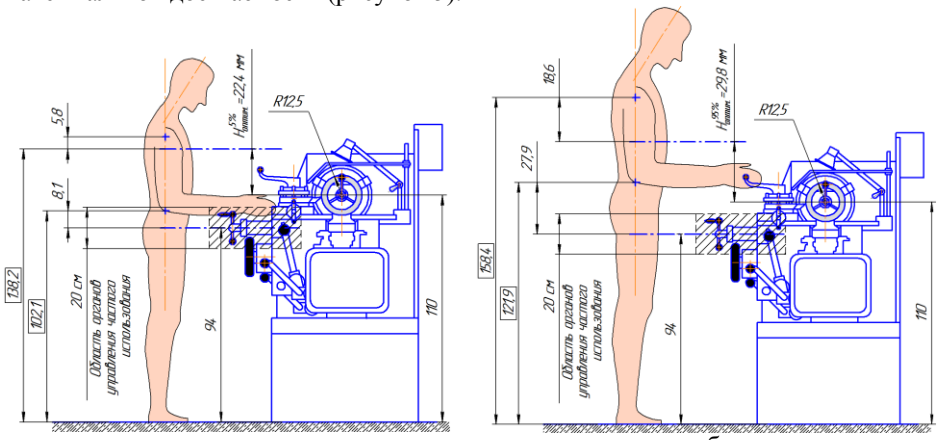
В ходе динамического анализа изучена работа оператора-станочника по оперированию ОУ универсального токарно-винторезного станка с функционально-анатомической точки зрения, а также выполнены измерения усилия, прилагаемого оператором-станочником к рассматриваемым ОУ. Установлено, что силовая подача пиноли задней бабки выполняется функциональной связью «кисть-предплечье-плечо» с усилием от 1,8 до 60 Н. Поперечная подача инструмента, выполняемая вращением рукоятки, осуществляется движением кисти руки и предплечья при согнутом локте с приложением к рукоятке усилия от 2 до 35 Н.

Хронометражными исследованиями, проведенными методом наблюдения за работой оператора-станочника, изготавливающего деталь типа «вал», установлено, что 43% от общего технического времени на изготовление детали затрачивается на оперирование ОУ станка. Бóльшая часть от времени работы с ОУ затрачивается на работу с рукояткой перемещения пиноли задней бабки (26,6%) и рукояткой управления механическими подачами (18,8%).

Позиционный анализ выявил, что для работы оператора-станочника характерны основные рабочие позы: стоя прямо и стоя с наклоном корпуса. В

позе с наклоном корпуса станочник находится около 40% рабочего времени, поддерживая рабочее положение значительными статическими напряжениями.

Неудобство рабочей позы обусловлено пространственно-антропометрическим несоответствием размерных данных оператора-станочника и размещения ОУ станка, выявляемое соматографическими исследованиями. Для построения соматографических схем использованы полученные ранее значения антропометрических признаков соответствующих перцентилей. На схемы нанесена «область органов управления частого использования», определяемая с позиций физиологической анатомии как рациональная для размещения ручных ОУ. Ось симметрии этой области совмещена с осью вращения часто используемой рукоятки поперечной подачи. На схемах отображена установленная оптимальная высота плечевого сустава относительно центра вращения рукоятки задней бабки (рисунок 4). Соматографические схемы, построенные с учетом значений антропометрического признака «досягаемость руки, отведенной в сторону» отображают зону максимальной досягаемости (рисунок 5).



а б

Рисунок 4 – Соматографическая схема, построенная с учетом значений антропометрических признаков, соответствующих перцентилям (вид сбоку): а – 5-му; б – 95-му.

Проанализировав соматографические схемы можно утверждать, что 95% операторов-станочников управляют станком в невыгодном функциональном положении, при котором локтевой угол больше 90^0, так как рука оператора находится выше области органов управления частого использования на 8,1÷30,4 см. У 99% станочников плечевой сустав находится выше установленного оптимального положения на 5,8÷28,4 см (рисунок 4).

Для обеспечения пространственно-антропометрического соответствия между размерными данными оператора-станочника и ОУ металлообрабатывающего станка были предложены следующие инженерно-технические решения. Для работающего в положении стоя станочника рекомендуется использовать регулируемую по высоте подставку для ног, быстро переналаживаемую под требуемый

антропометрический размер работника (рисунок 6). Предлагается устанавливать станок на уровень 25 см над полом, путем увеличения фундамента, благодаря чему повысится уровень расположения ОУ относительно пола. Реализация предложенных мероприятий позволит обеспечить рациональную компоновку рабочего места и увеличить степень функционального комфорта оператора-станочника при работе, что будет способствовать снижению утомляемости.

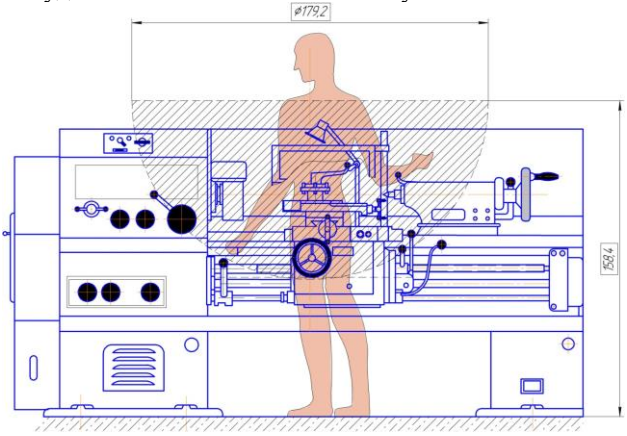


Рисунок 5 – Соматографическая схема, построенная с учетом значений антропометрических признаков 95-го перцентиля (вид спереди).

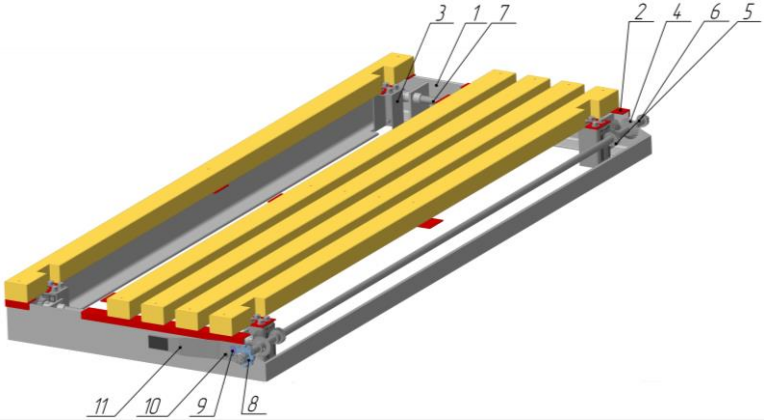
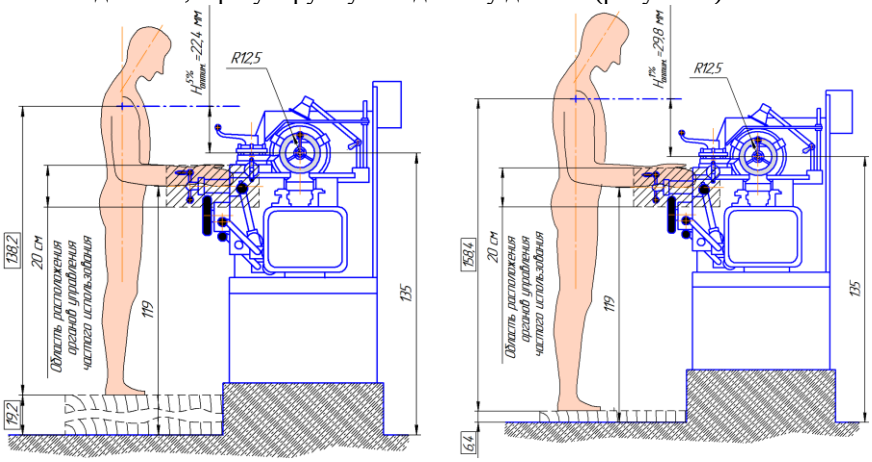


Рисунок 6 – Регулируемая подставка для ног оператора-станочника.

Для регулирования высоты подставки выполняют следующее. Извлекают стопор 10 из отверстия в основании 1, освобождая рукоятку 11. При вращении рукоятки 11 движение посредством взаимодействия храповика 8 и флажка 9 передается ведущему валу 6, который благодаря коническому зацеплению шестерен 4 передает вращение ведомым валам 7 с цилиндрическими шестернями 5, находящимися в зацеплении с рейками стоек 3. В итоге стойки 3 перемещаются вместе с рамой, а подставка принимает нужное положение по высоте.

Для обоснования предложенных инженерно-технических решений построили соматографические схемы, изображающие станок, установленный на уровень 25 см над полом, и регулируемую подставку для ног (рисунок 7).



а б

Рисунок 7 – Соматографическая схема станка на фундаменте при использовании регулируемой подставки для ног с учетом значений антропометрических признаков, соответствующих перцентилям (вид сбоку): а – 5-му; б – 95-му.

Анализ полученных схем показал, что благодаря установке станка на уровень 25 см над полом, увеличивается расстояние от пола до ОУ. Изменяя высоту регулируемой подставки для ног, можно установить положение плечевого сустава на оптимальный уровень, определенный ранее теоретическими исследованиями. При установке регулируемой подставки для ног на необходимую высоту, рука оператора-станочника, согнутая в локте под углом 90˚, находится в области расположения ОУ частого использования.

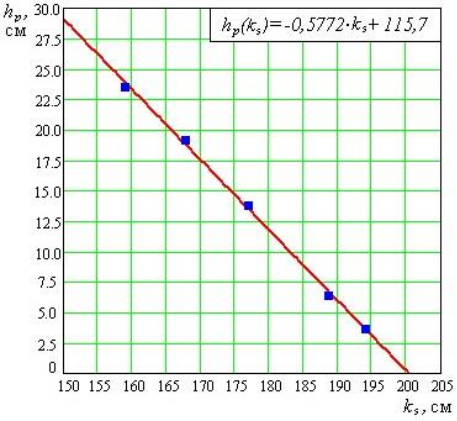


Рисунок 8 – Графическая зависимость высоты подставки для ног (h_p) от роста (k_s) человека.

С помощью соматографических схем установлена оптимальная высота подставки для операторов-станочников, имеющих значения антропометрических признаков соответственно 1-го, 5, 50, 95 и 99-го перцентилей Получены графическая зависимость высоты подставки (h_p) от роста человека (k_s), а также уравнение регрессии, позволяющее рассчитать высоту подставки для операторов-станочников любого роста (рисунок 8). Так, используя предложенные

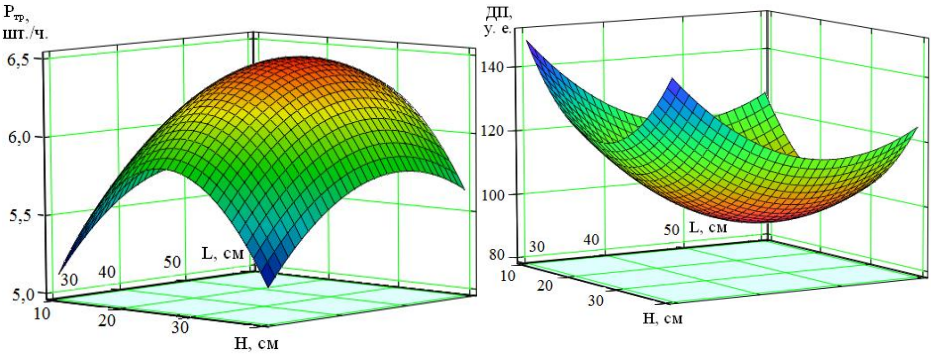
инженерно-технические решения, можно обеспечить оператору-станочнику оптимальное рабочее положение, при котором он будет выполнять работу без чрезмерного приложения сил и ненужных мышечных нагрузок.

Экспериментальными исследованиями получены показатели функционального состояния оператора-станочника и эффективности его трудовой деятельности до и после проведения мероприятия по обеспечению рабочего положения, характеризуемого оптимальными компоновочными параметрами.

Для выявления характера влияния компоновки рабочего места, обеспечивающей положение плечевого сустава оператора-станочника, определяемого параметрами H и L, на производительность труда ($P_{тр}$) и уровень соматического здоровья станочника, характеризующийся индексом Робинсона (*ДП*), проведен регрессионный анализ экспериментальных данных с помощью Mathcad. В результате получены зависимости параметров оптимизации $P_{тр}$ и *ДП* от факторов H и L, представленные функциями отклика вида полиномиальной модели 2-ой степени (формулы 9, 10) и поверхностями отклика (рисунок 9).

$$P_{тр}(H,L) = 0{,}529 + 0{,}161 \cdot H + 0{,}157 \cdot L + 0{,}00000168 \cdot H \cdot L - 0{,}003162 \cdot H^2 - 0{,}001578 \cdot L^2 \quad (9)$$

$$ДП(H,L) = 348{,}61 - 5{,}796 \cdot H - 7{,}324 \cdot L + 0{,}001538 \cdot H \cdot L + 0{,}113 \cdot H^2 + 0{,}073 \cdot L^2 \quad (10)$$



а б

Рисунок 9 – Поверхность функции отклика:
а – производительность труда; б – индекс Робинсона.

Коэффициенты регрессионных моделей имеют небольшой доверительный интервал. Величина стандартной ошибки составляет не более 5% от их значений. Определенные критерии значимости коэффициентов уравнения, при сравнении с их критическими значениями, свидетельствуют о существенности связи между параметрами оптимизации и факторами.

Из рисунка 9 видно, что поверхности отклика имеют по одному выраженному экстремуму. Значения факторов H и L, соответствующих экстремуму, можно считать оптимальными для выполняющего работу оператора-станочника. С помощью Mathcad установлены оптимальные значения факторов H и L для антропометрических признаков 50-го перцентиля. Индекс Робинсона имеет минимальное значение при H = 25,306 см и L = 49,898 см, максимальная

производительность труда оператора-станочника наблюдается при H = 25,472 см и L = 49,76 см. Полученные оптимальные значения компоновочных параметров, определяющих положение плечевого сустава оператора-станочника относительно центра вращения рукоятки, обеспечивают рациональную компоновку рабочего места, при которой производительность труда увеличивается на 10,5%, а значения индекса Робинсона, характеризующего функциональное состояние человека, уменьшаются на 21,7%. Сравнение оптимальных значений H и L, установленных экспериментальными исследованиями, с их значениями, полученными теоретически, дает расхождение не более 1,2%.

В **пятой главе** приведены расчеты по определению экономической эффективности от предлагаемых мероприятий по улучшению условий труда операторов-станочников. В результате проведения мероприятий по рационализации компоновки рабочего места оператора-станочника годовая экономическая эффективность от снижения себестоимости изготовления одной детали составит 11650 рублей (в ценах на 1 декабря 2015 года).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования получены следующие обоснованные результаты и выводы, подтверждающие достижение поставленной цели и решение сформулированных задач:

1. Полученные уравнения сил, действующие на плечевой сустав оператора-станочника при вращении рукоятки, позволили установить, что силы горизонтальная P и вертикальная Q зависят от радиуса рукоятки и от компоновочных параметров рабочего места, характеризующих взаимное расположение центра вращения рукоятки и плечевого сустава оператора-станочника, при этом их максимальное воздействие наблюдается в диапазоне угла поворота рукоятки от 2,2 до 3,2 рад.

2. Использование полученных зависимостей оптимальных компоновочных параметров, характеризующих взаимное расположение центра вращения рукоятки и плечевого сустава оператора-станочника, и радиуса рукоятки от момента сил сопротивления вращению обеспечивает работу станочника с ОУ приложением допустимых усилий, находящихся в пределах от 13 до 23 Н. Здесь же установлено, что полученные оптимальные значения компоновочных параметров (H, L), определяющих положения плечевого сустава относительно центра вращения рукоятки перемещения пиноли задней бабки универсального токарно-винторезного станка для операторов-станочников, имеющих антропометрические признаки, соответствующие 1-му, 5, 50, 95 и 99-му перцентилям, изменяются в интервалах H = 20,5…31,9 см, L = 43,1…56 см.

3. Выявленные числовые значения антропометрических признаков «досягаемость руки, отведенной в сторону», «высота плеча над полом», «высота локтя руки над полом» и «рост», соответствующих 5-му и (или) 95-му перцентилям, позволяют спроектировать компоновку рабочего места, удовлетворяющую 90…95% операторов-станочников; вычисленные числовые значения антропометрических признаков, соответствующих 1-му и 99-му перцентилям, могут использоваться при проектировании не только рациональной, но и безопасной компоновки рабочего места, увеличивая число удовлетворенных

операторов-станочников до 99%. Корреляционно-регрессионным анализом установлено существование высокой степени связи между исследуемыми признаками, на что указывают значения коэффициента корреляции, находящегося в пределах от 0,75 до 0,99.

4. Анализ рабочего места оператора-станочника универсального токарно-винторезного станка позволил установить, что 43% от общего времени технологического процесса, затрачивается на оперирование ОУ станка, при этом 40% своего рабочего времени он выполняет работу в положении «стоя с наклоном корпуса». При анализе также выявлено пространственно-антропометрическое несоответствие расположения ОУ и размерных данных станочника, выраженное в том, что 95% операторов-станочников управляют станком в невыгодном функциональном положении, при котором локтевой угол больше 900, а у 99% операторов-станочников плечевой сустав находится выше установленного оптимального положения.

5. Предложенные инженерно-технические решения (подставка для ног, регулируемая по высоте (Патент № 2459563); установка станка на уровень 25 см над полом путем увеличения фундамента) обеспечивают рациональную компоновку рабочего места по компоновочным параметрам (*H*, *L*), определяющим положение плечевого сустава оператора-станочника относительно центра вращения рукоятки перемещения пиноли задней бабки универсального токарно-винторезного станка, в диапазоне $H = 20{,}5\ldots31{,}9$ см и $L = 43{,}1\ldots56$ см.

6. Полученные оптимальные значения компоновочных параметров, определяющих положение плечевого сустава оператора-станочника относительно центра вращения рукоятки, обеспечивают рациональную компоновку рабочего места, при которой производительность труда увеличивается на 10,5%, а значения индекса Робинсона, характеризующего функциональное состояние человека, уменьшаются на 21,7%.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Прокошина, Т.С. Условия труда работников, занятых на производстве машин и оборудования / И.В. Гальянов, Т.С. Прокошина // Тр. ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 108. – С. 138 – 139.

2. Прокошина, Т.С. Анализ травматизма со смертельным и тяжелым исходом на металлообрабатывающих станка в агропромышленном производстве Российской Федерации / Т.С. Прокошина // Вестник ОрелГАУ : теоретич. и науч.-практ. журн. – 2013. – №1 (40). – С. 187 – 190.

3. Прокошина, Т.С. Улучшение предметно-пространственных условий труда станочника / И.В. Гальянов, Т.С. Прокошина // Тр. ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 113. – С. 121 – 124.

4. Прокошина, Т.С. Расчет сил, действующих на оператора станка, при вращении рукоятки / Т.С. Прокошина, И.С Кузнецов // Тр. ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 119 . – С. 65 – 74.

5. Прокошина, Т.С. Определение оптимального радиуса вращательной рукоятки и параметров ее размещения относительно оператора

металлообрабатывающего станка / Т.С. Прокошина // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2016. – № 2 (316). – С. 58 – 63.

6. Прокошина, Т.С. Влияние рабочего положения оператора универсального токарно-винторезного станка на его производительность труда и уровень соматического здоровья / Т.С. Прокошина // Безопасность жизнедеятельности. – 2016. – № 5. – С. 14 – 17.

7. Прокошина, Т.С. Исследование эргономических признаков мужчин Орловской области в возрасте 20-55 лет / Т.С. Прокошина // Вестник Московского университета. Серия XXIII «Антропология». – 2016. – № 2. – С. 65 – 71.

Наиболее значимые публикации в других изданиях:

8. Прокошина, Т.С. Эргономическая оценка токарно-винторезного станка / Т.С. Прокошина // Особенности технического и технологического оснащения современного сельскохозяйственного производства сб. матер. междунар. науч.-практ. конфер. – Орел: изд-во Орел ГАУ, 2013. – С. 415 – 419.

9. Прокошина, Т.С. Инженерно-техническое средство эргономической рационализации рабочего места / Т.С. Прокошина // // Агротехника и энергообеспечение. – 2014. – №1 (1). – С. 499 – 503.

10. Прокошина, Т.С. Меры охраны труда при работе на металлорежущих станках / Т.С. Прокошина, Д.В. Лобзин // Охрана труда 2014. Современные тенденции и перспективы развития // сб. матер. Всерос. заоч. науч.-практ. конфер. – Орел: изд-во Орел ГАУ, 2014. – С. 149 – 156.

11. Прокошина, Т.С. Определение частоты использования органов управления токарно-винторезного станка методом хронометража / Т.С. Прокошина // Агротехника и энергообеспечение. – 2015. – №1 (5). – С. 34 – 40.

12. Прокошина, Т.С. Эргономические исследования рабочей позы оператора-станочника токарно-винторезного станка /Т.С. Прокошина // Агротехника и энергообеспечение. – 2015. – №3 (7). – С. 201 – 206.

Авторские свидетельства и патенты

1. Пат. 2459563 С1 Российская Федерация, МПК А 47 С 16/02. Подставка для ног / Прокошина Т.С., Гальянов И.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Орл. гос. аграр. ун-т». – № 2011115788/12 ; заявл. 20.04.2011; опубл. 27.08.2012, Бюл. № 24. – 7 с.

Подписано в печать
Формат 60х90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 1,0. Заказ 36. Тираж 100 экз.

Отпечатано в издательстве ИАЭП, 2017, Санкт-Петербург-Тярлево,
Фильтровское ш. 3