



# Инновационный метод оценки показателей тяжести труда на основе технологий компьютерного зрения и нейронных сетей

Киселева Е.А., Климова Т.А.

Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова (Пироговский Университет), г. Москва, Россия

**Введение.** Тяжесть труда является важной характеристикой трудового процесса, отражающей нагрузку на опорно-двигательный аппарат и функциональные системы организма. Превышение гигиенических нормативов по отдельным показателям тяжести труда увеличивает риск развития профессиональных и производственно обусловленных заболеваний (болезни спины, моно- и полиневропатии, хронический скелетно-мышечный болевой синдром, радикулопатии, миофиброзы, остеоартрозы).

В гигиене труда важным элементом первичной профилактики, направленной на минимизацию рисков возникновения профессиональной патологии, является контроль уровней вредных факторов, выявление рабочих мест с превышениями гигиенических нормативов и снижение их воздействия. Данные меры профилактики осуществляются посредством проведения производственного контроля и специальной оценки условий труда (СОУТ).

В настоящее время оценка показателей тяжести труда проводится в рамках хронометражных исследований экспертами при помощи метода наблюдения с использованием дальномера, весов, секундомера, динамометра в соответствии с методикой МИ ТТП.ИНТ -16.01-2018 [1]. Таким образом, применяемые хронометражные методы измерений отличаются трудоёмкостью и не гарантируют точность получаемых результатов. Необходима разработка новой методики оценки тяжести труда по показателям «количество наклонов» и «рабочая поза», основанной на объективном учете количественных значений, реализация которой стала возможна при современном уровне развития информационных технологий.

**Цель исследования** – разработать методику оценки тяжести труда по показателям «количество наклонов» и «рабочая поза» у работников полимерного производства на основе комплекса технологий – хронометражных наблюдений, компьютерного зрения и нейросетевого анализа.

## Методы исследования.

В исследовании применены хронометражные, гигиенические, статистические методы, а также методы моделирования и программирования. Дизайн исследования включал 4 этапа.

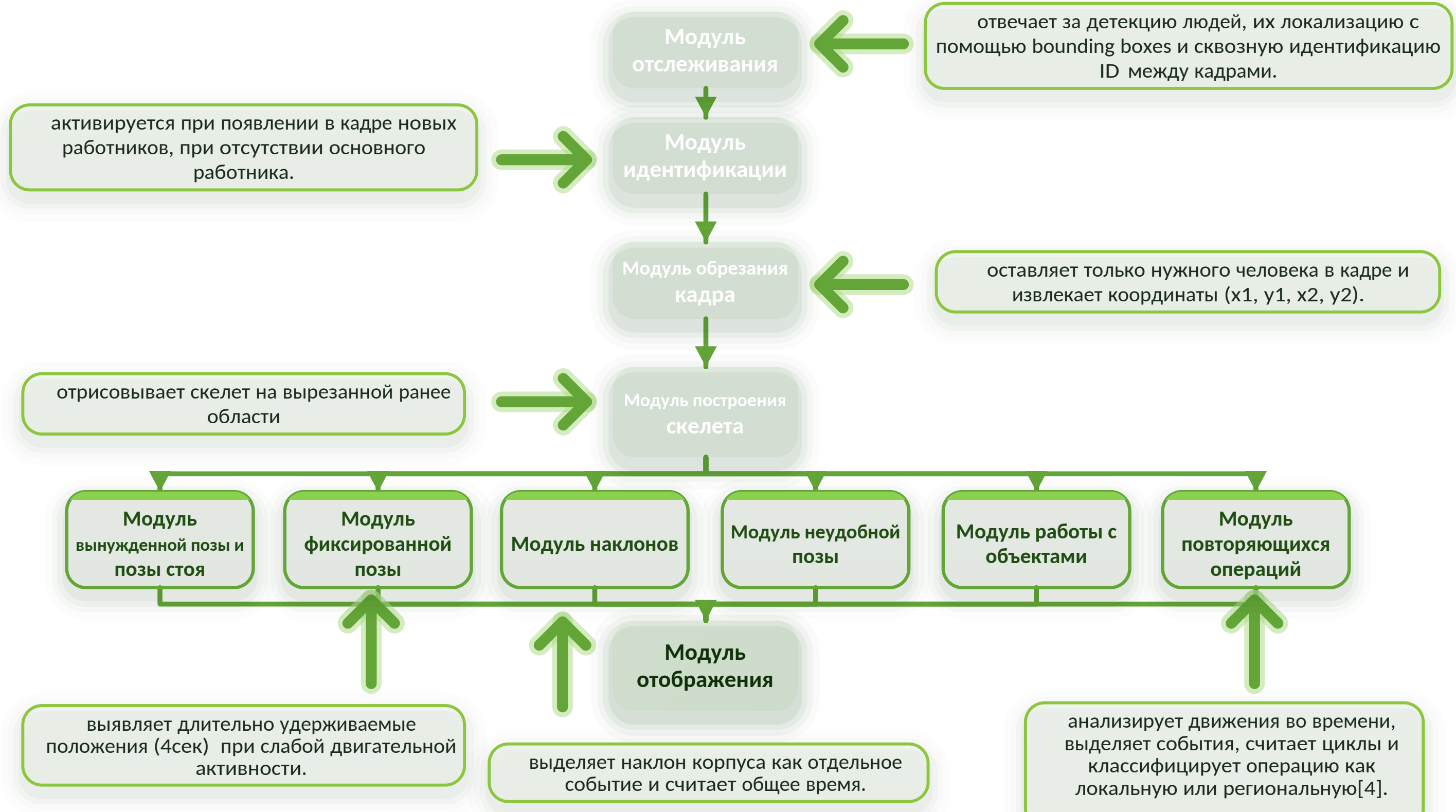
1. Подготовительный этап. Основными исследуемыми группами являлись работники 10 должностей, занятых на 20 рабочих местах. На подготовительном этапе был выполнен анализ трудовых функций работников (89 единиц), изучено рабочее оборудование (112 единиц), оценены результаты ранее проведенных оценок условий труда (20 карт СОУТ ), в том числе, по показателям тяжести труда.

2. Полевое исследование. Для оценки показателей тяжести труда исследования проводились на каждом рабочем месте в дневные смены, продолжительностью от 8 до 12 часов. Для каждого работника формировалась группа из двух исследователей, первый вел хронометражное наблюдение, второй осуществлял видеофиксацию.

3. Анализ и предобработка данных видеосъемки. После завершения полевого этапа в лабораторных условиях для каждой профессии рассчитывалось абсолютное время нахождения работника в каждой из рабочих поз за смену, а также доля этого времени в процентах от 8-часовой рабочей смены (аналогично подсчитывались наклоны корпуса). Из всего видеоматериала для дальнейшей работы отбирались видеофрагменты, пригодные для нейросетевой обработки.

4. Разработка программного обеспечения (ПО) для оценки тяжести труда по видеоизображению.

Архитектура ПО была разработана по модульному принципу, где каждый модуль отвечал за определенный этап обработки и дальнейшую передачу данных следующему (рисунок 1).



## Результаты

1. Анализ условий труда 19 профессий показал, что трудовые функции работников требуют регулярных перемещений, наклонов корпуса и пребывания в фиксированных или вынужденных позах. По результатам хронометражных исследований выделены две основные модели труда. Должности 1 группы (аппаратчики, начальники смен) работают в режиме циклического чередования «ведение режима – обход», при котором доля времени, сопряженного с физической нагрузкой, варьирует от 16,7 до 76,5 % смены и перемежается периодами относительного физического покоя. Должности 2 группы (слесари-ремонтники, электрогазосварщики, слесари КИПиА, подсобный рабочий) характеризуются практически непрерывной двигательной активностью на протяжении 75,2-96,5 % рабочего времени, без чередования нагрузки и отдыха.

2. Анализ и обработка видеоматериалов. Поскольку видеофиксация охватывала лишь те операции, которые непосредственно формируют показатели тяжести трудового процесса, а хронометраж велся непрерывно в течение всей смены, для получения итоговых оценок данные, полученные из видео (время пребывания в разных позах, количество наклонов), пересчитывались на общее время смены с учетом хронометражных записей). Такой подход позволил сохранить объективность оценки показателей тяжести труда и получить значения, сопоставимые с гигиеническими критериями, установленными для полной рабочей смены. Охват смены видеофиксацией и доля пригодных к обработке данных приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Охват смены видеофиксацией в каждой профессии и должности

| Должность / профессиональная группа                   | Продолжительность смены, ч | Доля физической активности по хронометражным данным, % | Доля сырого материала от времени смены, % | Доля материала пригодного к обработке, % |
|-------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|
| начальник смены ЦТП                                   | 12                         | 36,4                                                   | 30,0                                      | 21,3                                     |
| аппаратчик полимеризации бр ЦТП, секция 100, 200, 400 | 12                         | 29,6                                                   | 23,3                                      | 18,2                                     |
| аппаратчик полимеризации 5р ЦТП, секция 300, 500      | 12                         | 41,3                                                   | 29,7                                      | 20,6                                     |
| аппаратчик полимеризации 5р ЦТП, секция 300, 500      | 12                         | 53,9                                                   | 31,3                                      | 17,4                                     |
| аппаратчик полимеризации 5р ЦТП, секция 600, 700      | 12                         | 31,1                                                   | 23,8                                      | 15,3                                     |
| аппаратчик полимеризации 5р ЦТП, секция 800, 900      | 12                         | 78,4                                                   | 35,9                                      | 19,9                                     |
| машинист гранулирования бр, ЦТП                       | 12                         | 39,8                                                   | 32,7                                      | 19,4                                     |
| слесарь КИПиА 5р                                      | 8                          | 83,8                                                   | 56,3                                      | 39,6                                     |
| слесарь КИПиА 5р (сменный)                            | 12                         | 43,2                                                   | 24,2                                      | 17,0                                     |
| слесарь КИПиА бр                                      | 8                          | 69,2                                                   | 36,9                                      | 31,0                                     |
| подсобный рабочий, СМТО                               | 8                          | 71,7                                                   | 62,7                                      | 44,2                                     |
| аппаратчик бр, ООТПП                                  | 8                          | 67,5                                                   | 59,2                                      | 45,7                                     |
| машинист насосных установок бр, УТВВ                  | 12                         | 26,7                                                   | 14,0                                      | 7,8                                      |
| начальник смены, ЦТХиО СУГ                            | 12                         | 4,2                                                    | 14,2                                      | 10,1                                     |
| аппаратчик перегонки бр, ЦТХиО СУГ                    | 12                         | 14,6                                                   | 9,4                                       | 3,8                                      |
| аппаратчик перегонки 5р, ЦТХиО СУГ                    | 12                         | 69,7                                                   | 31,4                                      | 11,5                                     |
| слесарь-ремонтник 5р, УРТО                            | 8                          | 65,2                                                   | 69,4                                      | 38,4                                     |
| слесарь-ремонтник бр, УРТО                            | 8                          | 79,4                                                   | 73,5                                      | 65,9                                     |
| электрогазосварщик бр, УРТО                           | 8                          | 78,8                                                   | 76,6                                      | 38,2                                     |
| аппаратчик ЦТХиО СУГ 5р, ЦТХиО СУГ                    | 12                         | 39,9                                                   | 37,5                                      | 33,6                                     |

В среднем по всем обследованным профессиям и должностям доля пригодного к нейросетевой обработке материала составила около 27% (3,9±0,3 ч), что в среднем в 2,2 раза больше, чем при проведении выборочных хронометражных исследований, проводимых при обычной процедуре СОУТ.

3. Важным результатом работы стала успешно проведенная верификация методики. Была обоснована корректность работы алгоритмов распознавания рабочих поз и расчета временных характеристик, используемых при оценке тяжести труда в сравнении с экспертным значением по результатам хронометражных наблюдений.

Для количественной оценки точности определения рабочих поз использовалась абсолютная ошибка (АЕ), определяемая как абсолютная разность между значением, полученным в ПО и экспертным значением.

Помимо абсолютной ошибки использовалась абсолютная процентная ошибка (АРЕ), которая показывает, на сколько процентов результат автоматического расчета отличается от экспертного значения.

Для получения интегральной оценки качества работы ПО использовалась средняя абсолютная процентная ошибка (МАРЕ), определяемая как среднее арифметическое значений АРЕ. Результаты сопоставления данных экспертной и программной обработки видеозаписи с расчетом ошибок показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели экспертного и программного расчета продолжительности пребывания человека в отдельной позе и количества наклонов с оценкой абсолютной (АЕ) и абсолютной процентной (АРЕ) ошибок.

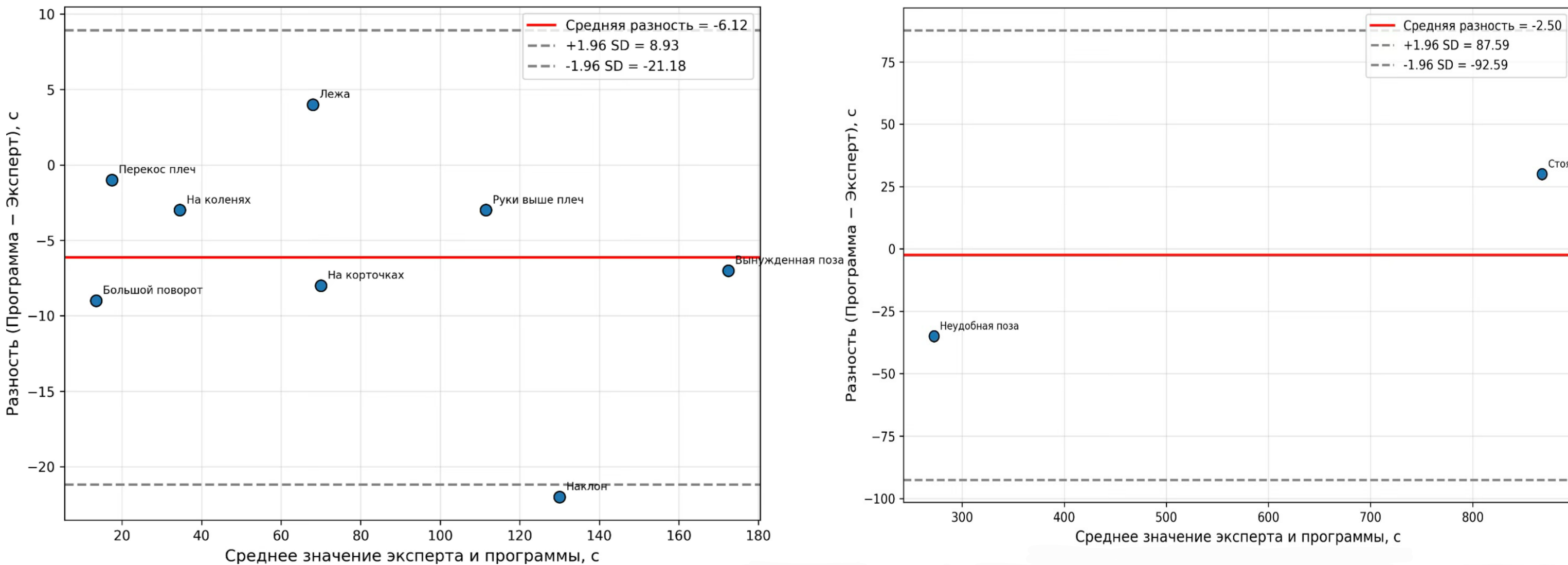
| Рабочие позы             | Экспертный расчет, с | Программный расчет, с | АЕ, с/к-во | АРЕ, % |
|--------------------------|----------------------|-----------------------|------------|--------|
| Стоя                     | 883                  | 883                   | 30         | 3,52   |
| Неудобная поза           | 290                  | 255                   | 35         | 12,07  |
| Большой поворот туловища | 18                   | 9                     | 9          | 50     |
| Руки подняты выше плеч   | 113                  | 110                   | 3          | 2,65   |
| Перекус плеч             | 18                   | 17                    | 1          | 5,54   |
| Время в наклоне          | 141                  | 119                   | 22         | 15,60  |
| Вынужденная поза         | 176                  | 169                   | 7          | 3,98   |
| Лежа                     | 66                   | 70                    | 3          | 4,55   |
| На коленях               | 36                   | 33                    | 3          | 8,33   |
| На корточках             | 74                   | 66                    | 8          | 10,81  |
| Фиксированная            | не рассчитывался     | 295                   | -          | -      |
| Наклоны (количество)     | 28                   | 27                    | 1          | 3,57   |

Абсолютная ошибка для различных показателей составила от 1 до 35 секунд, а 90,9% показателей АРЕ находились в пределах от 2,65 до 15,6%. Наибольшие отклонения наблюдались при определении неудобных поз и больших поворотов туловища.

Показатель МАРЕ по всем параметрам после исключения «выскакивающего» аномального значения оказался равен 7,29 %. По шкале точности прогнозирования Льюиса значение МАРЕ менее 10% интерпретируется как отличный результат, «высокоточное прогнозирование».

Для оценки согласованности результатов разработанной системы и экспертной разметки по различным рабочим позам был построен график Бланда-Альмана, показывающий зависимость разности между двумя методами измерения (ось y) от их среднего арифметического значения (ось x).

Рисунок 2 – График Бланда-Альмана для: А - всех исследованных рабочих поз, кроме позы стоя и неудобных поз; Б - для неудобных поз и позы стоя



На рисунке 2 по оси абсцисс отложены средние значения экспертной и программной оценки длительности выполнения каждого типа позы, а по оси ординат – разность между программным и экспертным значением. Центральная линия на графике соответствует средней разности (bias), которая в данном случае составляет -5,0 с, что указывает на незначительное систематическое смещение в сторону недооценки длительности поз разработанной системой.

В целом анализ распределения точек на рисунке 2 показывает, что основная часть значений сосредоточена в пределах границ согласия (+2s), что свидетельствует об удовлетворительном уровне соответствия между автоматическим методом и экспертной оценкой.

Таким образом, показатели характеризуются небольшой абсолютной ошибкой, а величина отклонений существенно меньше временных интервалов, используемых при определении категорий тяжести трудового процесса согласно действующим методикам. Это свидетельствует о возможности использования ПО для точной оценки продолжительности пребывания работника в различных позах и может быть использована для автоматизации расчета данных показателей тяжести труда.

## Заключение

Предложенный метод позволяет объективизировать оценку показателей тяжести труда, минимизировать влияние субъективного фактора и получать воспроизводимые количественные результаты. Методика может применяться как для первичной углубленной оценки, так и для верификации данных, полученных стандартными методами, на предприятиях. Дистанционный формат сбора данных и анализа гарантирует безопасность и объективность, так как не требует присутствия человека в опасной зоне и не отвлекает работника. Кроме того, формируется надежная юридическая доказательность: видеоряд с наложенной скелетной моделью служит прозрачной верифицируемой базой для аудитов и проверок.

## Литература.

- МИ ТТП. ИНТ -16.01-2018 Методика измерений показателей тяжести трудового процесса для целей специальной оценки условий труда, утв. 06.12.2018.
- Joseph Redmon et al. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection // EEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2016. – p. 779-788.
- Li S et al. A Review of Multi-Object Tracking in Recent Times // IET Comput. – 2025. – №19. – p. e70010.
- Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа для оценки тяжести трудового процесса (рабочее положение и наклоны корпуса тела) по видеозаписи движений работника» авт. Бухтияров И.В., Зибарев Е.В., Мухин К.С., Вострикова С.М., Кравченко О.К., Бессонова А.К., Токарев А.В. (№2026667378, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 08 июня 2026 г.).