

05.05.03  
Г962

На правах рукописи

ГУСЕВ Сергей Артурович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ БУЛЬДОЗЕРОВ  
НА РАДИОАКТИВНО ЗАРАЖЕННОЙ МЕСТНОСТИ  
ЗАЩИТОЙ ОПЕРАТОРОВ УЗЛАМИ МАШИНЫ**

Специальность: 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины»

Специальность: 05.26.01 – «Охрана труда»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск

2006

Диссертация выполнена в ГСКБ ОАО «Челябинский тракторный завод» (ОАО «ЧТЗ») и на кафедре «Специальные и дорожно-строительные машины» Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ).

Научный руководитель — кандидат технических наук, доцент  
Бондарь В.Н.

Научный консультант — кандидат технических наук  
Раевский В.И.

Официальные оппоненты — доктор технических наук, профессор  
Держанский В.Б.

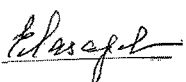
— кандидат физико-математических наук  
Горин Н.В.

Ведущее предприятие — ЗАО «Челябинские строительно-  
дорожные машины».

Защита диссертации состоится « 4 » октября 2006 г. в  
15 часов на заседании диссертационного Совета  
Д-212.298.09 при Южно-Уральском государственном университете  
по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.  
Автореферат разослан « 31 » августа 2006 г.

Отзывы на реферат в двух экземплярах с подписью, заверенной  
печатью, просим направлять по адресу университета.

Ученый секретарь  
диссертационного Совета Д-212.298.09,  
доктор технических наук, профессор  Е.А. Лазарев



Актуальность темы. Радиационно дестабилизированных территорий в Российской Федерации около 1 млн. км<sup>2</sup>. Проблема борьбы с радиоактивным загрязнением выдвигается на первый план среди других экологических проблем ввиду ее огромных масштабов и особо опасных последствий (А. В. Яблоков).

Решение этой проблемы требует выполнения большого объема землеройных и дорожно-строительных работ на радиоактивно зараженной местности с широким использованием бульдозерных агрегатов (БА). Такими агрегатами могут быть как дистанционно управляемые, применение которых ограничено, так и агрегаты с непосредственным управлением оператором, находящимся в кабине машины. Применение последних выдвигает задачу создания противорадиационной защиты оператора (ПРЗ). Эта задача может решаться как путем создания специальных машин, так и за счет модернизации серийно выпускаемых, установкой на них ПРЗ оператора. Второй путь позволяет в короткие сроки и с наименьшими затратами удовлетворить потребности в технике для работ на радиоактивно зараженной местности (РЗМ).

ПРЗ должна обеспечивать безопасные условия работы оператора при рациональных параметрах машины и ее эффективной работе. Наиболее полно эти требования закладываются на этапе проектирования. Процесс проектирования такой машины требует расчета и сопоставления большого количества вариантов (значительных затрат времени на проектирование и расчет).

Существующие методики расчета защищенности оператора опираются на подробную компоновочную схему машины и не дают конкретной информации по построению ПРЗ оператора в части соотношения основных параметров узлов защиты, увязанных с параметрами машины. Поэтому необходимо создание методик, позволяющих на начальном этапе разработки конструкции осуществлять выбор параметров машины с учетом ПРЗ оператора.

Работа выполнялась в соответствии с рядом программ, в том числе с федеральной целевой программой «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2010 года», утвержденной правительством России в августе 2001 г.

Цель работы – создание методик проектирования машин с ПРЗ оператора и рекомендаций по совершенствованию параметров машины и защиты, позволяющих повысить эффективность использования работающей на РЗМ техники.

Объект исследований – гусеничные (преимущественно на базе тракторов типа Т10 (Т-170) и ДЭТ-250) машины с защитой оператора (экипажа) от ионизирующих излучений.

Научная новизна. Разработаны математические модели и методики, раскрывающие на начальном этапе проектирования взаимосвязи между параметрами ПРЗ оператора (габаритно-массовыми, толщинами, уровнем ослабления излучения, экономическими) и габаритно-массовыми, компоновочными, функционально-стоимостными параметрами машины.

Получены зависимости уровня защиты оператора от места расположения оператора на шасси, габаритно-массовых параметров шасси и энергии поля гамма-излучения (ГИ) на грунте. Предложены критерии качественной

и количественной оценки зависимости толщины защитных стенок-панелей кабины от изменения уровня защиты отдельных проекций, количества и расположения операторов.

На примере БА разработана методика выбора рациональных параметров трактора с учетом параметров ПРЗ оператора.

Новые научные результаты выполненной работы позволяют решать задачи определения основных параметров машины с ПРЗ оператора и их взаимосвязи в рамках теории аналитического конструирования при минимуме исходных данных.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается обоснованностью исходных посылок, вытекающих из основ теорий гусеничных и колесных машин и защиты человека от радиации; принятыми уровнями допущений при математическом описании ПРЗ оператора и параметров машины; удовлетворительным совпадением результатов теоретических исследований с результатами экспериментов, выполненных с использованием реальных машин и моделей; достаточным объемом и результатами практических и экспериментальных исследований, проведенных ФГУП 15 ЦНИИ МО РФ, НИИСтали, РФЯЦ НИИТФ, ГУП 38НИИИ БТ, ГосНИИ ПТ и др.

**Практическая ценность** заключается в повышении качества и сокращении сроков проектирования техники, работающей на РЗМ.

Разработанные в диссертации методики и рекомендации позволяют на ранней стадии проектирования: выбирать основные параметры машины, обеспечивающие ее максимальную эффективность; оценивать эффективность и возможный уровень ПРЗ конкретной машины и решать обратную задачу по расчету параметров техники из условия обеспечения заданного уровня защиты оператора.

Новые конструктивные и технологические решения повышают уровень биологической защиты оператора, качество и безопасность работ при изготовлении защитной кабины.

**Реализация результатов работы.** Разработанные методики и рекомендации, конкретные технические решения использованы ГСКБ ОАО «ЧТЗ» при проектировании различных образцов техники, работающей на РЗМ. В том числе бульдозеров ДЗ-171.1КЗ и ДЗ-132-1КЗ, которые прошли Государственные испытания, рекомендованы в серийное производство и приняты на снабжение Российской армии.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались в разные годы на научно-технических конференциях ОАО «ЧТЗ», ГосНИИ ПТ, ЮУрГУ, ЧГАУ.

**Публикации.** По результатам диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе 4 патента РФ на изобретения.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа объемом 152 страницы машинописного текста состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы, трех приложений и содержит 38 рисунков, 13 таблиц, список литературы из 84 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность выбранной темы исследований, приводится общая характеристика работы, ее научная новизна, цель и задачи исследований.

**В первой главе** рассмотрены особенности эксплуатации техники на РЗМ с точки зрения ПРЗ оператора, приводятся способы и обзор методов проектирования машин и оценки уровня биологической защиты оператора.

Применение защиты человека от радиации снижает его поглощенную дозу (ПД) излучения, что позволяет (при заданной предельно допустимой поглощенной дозе (ПДД)) увеличить время нахождения оператора под воздействием ионизирующих излучений и, следовательно, время работы машины в зоне радиоактивного заражения:

$$T_{см} = \frac{K_m \cdot ПДД}{P_0}, \quad (1)$$

где  $T_{см}$  – продолжительность работы одного оператора в сутки (время смены);  $K_m$  – кратность ослабления ГИ машиной;  $P_0$  – мощность дозы ГИ на участке производства работ.

Методы определения, особенности расчета и проектирования техники с ПРЗ оператора нашли отражение в работах А.В. Виноградова, Н.Г. Гусева, В.И. Журавлева, В.С. Козлова, Ю.П. Костенко, А.Б. Милентьева, А.М. Панченко, Е.С. Фрида, Д. Велла, С. Глесстана, Б. Прайса и др. В трудах этих авторов рассмотрены особенности работы и расчета машины на РЗМ, существующие методы оценки защиты оператора от излучений: метод Монте-Карло, сочетание методов лучевого анализа и эквивалентных источников, метод статистических испытаний, ряд других методов.

Оценка уровня ПРЗ оператора с использованием этих методов в настоящее время производится по физико-математической модели защиты разрабатываемой по чертежно-технической документации, на начальном этапе проектирования по подробной геометрической схеме машины. Для построения модели необходимо знать расположение и габаритно-массовые параметры всех основных элементов конструкции машины, материалы, из которых они изготовлены, а также места размещения экипажа.

До последнего времени предварительный уровень защиты от ионизирующих излучений и другие зависящие от него параметры машины определяются на этапе эскизного проекта по геометрической схеме, при этом выполняется большой объем компоновочных и расчетных работ. В случае несоответствия этих параметров требованиям, заданным в тактико-техническом задании (ТТЗ), в первую очередь меняется компоновка (габаритно-массовые параметры) кабины. Если параметры измененной конструкции кабины не приводят к выполнению ТТЗ, то можно либо дальше менять компоновку и конструкцию кабины, либо менять шасси (выбирать другое базовое шасси), либо в крайнем случае менять ТТЗ. Изменение шасси в свою очередь также приведет к изменению конструкции кабины.

Таким образом, разработка машины с ПРЗ оператора сводится, по существу, к разработке ряда конструкций на основе опыта и интуиции

конструктора, методу проб и ошибок и выбору решения из этого ряда. Такой подход требует огромных трудозатрат и не гарантирует получения оптимального решения. Поэтому в настоящее время необходимо внесение научных методов в процесс проектирования на начальном этапе разработки конструкции.

Существующие методики не позволяют оценить уровень защиты оператора на начальном этапе проектирования, не имея данных по расположению и габаритно-массовым параметрам всех основных металлоемких узлов машины. Эти методики не содержат конкретной информации для построения ПРЗ оператора в части соотношения основных параметров защиты (габаритно-массовых и защитных), увязанных с назначением и компоновкой машины.

Выполненный анализ позволяет сформулировать основные задачи исследования:

- проведение оценки техники, работающей на РЗМ, выделение параметров, определяющих эффективность машины и уровень ПРЗ оператора, выполнение математического описания взаимосвязей этих параметров;

- разработка математических моделей и методик, позволяющих на начальной стадии проектирования машины с ПРЗ оператора получать соотношения и численные значения основных параметров защиты (габаритно-массовых, толщины ПРМ стенок кабины, уровня ослабления излучения в расчетных точках, экономических), увязанных с параметрами и компоновкой машины, а также особенностями РЗМ, для работы на которой создается техника;

- определение технических характеристик, обеспечивающих высокую производительность машины с необходимыми параметрами защиты оператора;

- проверка достоверности и обоснованности полученных методик;

- решение с помощью разработанных методик практически важных задач: выбор основных параметров машины и защиты, обеспечивающих наилучшее (рациональное) выполнение требований, предъявляемых к машине; определение возможности достижения заданного в ТТЗ уровня ПРЗ оператора;

- создание техники и конструкций защиты оператора более эффективных в работе, чем существующие образцы.

**Во второй главе** разработаны математические модели и методики оценки эффективности техники на РЗМ и выбора рациональных параметров машины с учетом ПРЗ оператора. Рассматриваются оперативные методики расчета защиты оператора узлами шасси и защитным экраном (стенками) кабины от источников ГИ, а также влияние массы ПРЗ на техническую производительность бульдозера. Методики позволяют на начальном этапе проектирования определять численные значения параметров машины и защиты оператора, их взаимосвязи между собой.

Рассмотрена методика оценки влияния шасси (машины без кабины) гусеничного трактора на защищенность оператора от поля ГИ, находящегося на грунте. При ее разработке были приняты следующие допущения по формализации основных признаков, влияющих на защиту оператора от излучений:

а) моноэнергетическое поле ГИ на грунте считаем бесконечно тонким диском с равномерным распределением радиоактивного источника – с постоянным значением поверхностной плотности активности  $\sigma$ ;

б) координаты расчетных точек А и В, в которых определяется уровень биологической защиты человека от ГИ, выбираются на оси, проходящей через центр диска и соответствуют координатам точек А (уровень головы) и В (уровень низа живота) находящегося в кабине оператора;

в) защитный экран шасси гусеничного трактора класса 10...25 представляется в виде стального параллелепипеда с размерами по длине и ширине равными соответствующим размерам шасси в плане, с толщиной ( $b_w$ ), соответствующей приведенной к размерам экрана массе шасси, с положением центра тяжести от грунта, совпадающим с центром тяжести шасси;

г) проекции прямых, проходящих через биологические точки оператора и края защитного экрана на грунте, должны находиться внутри диска – модели поля ГИ.

Графически формализация основных параметров шасси и поля РЗМ для расчета уровня защиты оператора от ионизирующих излучений показана на рис. 1. Как видно из рис. 1, мощность дозы ГИ в расчетной точке определяется излучением, проходящим из двух условно выделенных зон РЗМ – не перекрытой и перекрытой шасси. Тогда кратность ослабления

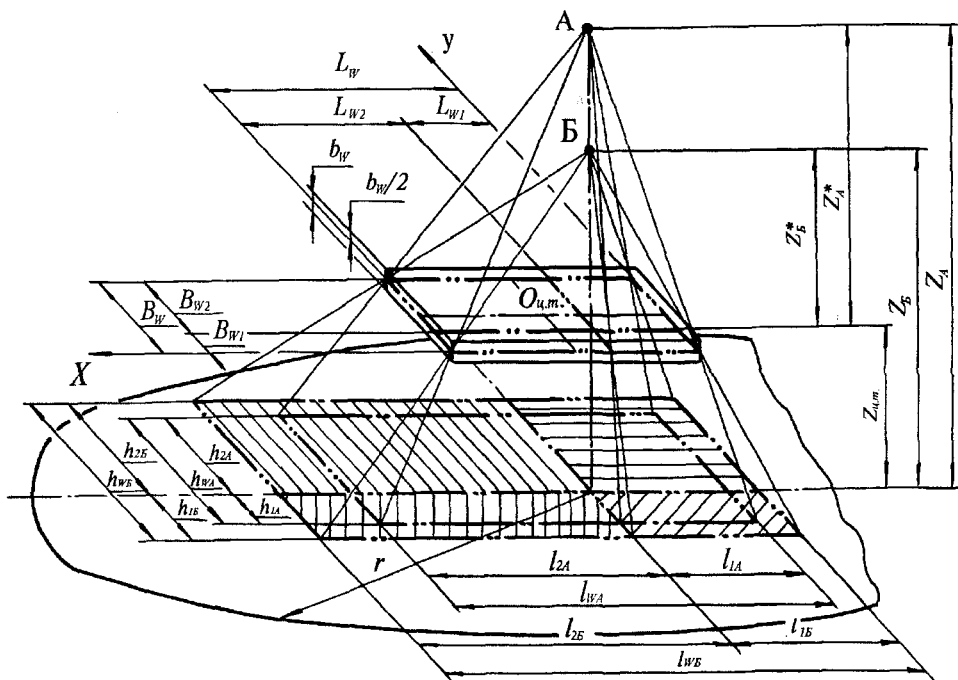


Рис. 1. Схема к расчету влияния шасси на уровень защиты оператора от ГИ грунта

излучения находящегося на грунте источника узлами шасси в расчетной точке определяется по формуле:

$$K_w = \frac{P_0}{(P_0 - P_1) + P_2}, \quad (2)$$

где:  $P_0$  – мощность дозы ГИ источника в виде диска (мощность дозы ГИ РЗМ);  $P_1$  – мощность дозы ГИ прямоугольного источника из зоны, перекрытой шасси;  $P_2$  – мощность дозы ГИ из зоны, перекрытой шасси, за защитным экраном шасси.

2.1. Мощность дозы ГИ в точке А(В) при круговом распределении излучения находится по известной формуле (Н.Г.Гусев и др.)

$$P_{0i} = \pi P_\gamma \sigma \ln \frac{r^2 + z_i^2}{z_i^2}, \quad (3)$$

где:  $P_\gamma$  – гамма-постоянная радиоактивного изотопа;  
 $i$  – индекс, означающий заданную точку (А или В).

При расчете уровня ПРЗ оператора любое бесконечное поле излучения можно представить в виде излучающего диска радиусом 300 метров, с которого снимается более 90% мощности дозы излучения бесконечного поля (В.Ф. Глушков, Е.С. Фрид). Однако на практике, оценивая дозу излучения реальной РЗМ для ровной поверхности без глубинного распределения с учетом травяного покрова и неровностей на поверхности грунта, рекомендуется уменьшить теоретическую дозу излучения в два раза (В.Ф. Козлов). С учетом этого расчет по формуле (3) показывает, что мощности дозы реальной РЗМ с излучающего диска 300 метров (бесконечное поле излучения) на рабочем месте оператора соответствует теоретическая доза излучения, полученная с диска радиусом около 20 метров.

### 2.2. Мощность дозы ГИ в точке А (В) из зоны перекрытой шасси

Мощность дозы ГИ, создаваемая прямоугольным источником в случае, показанном на рис. 2а

$$P = P_\gamma \sigma \left\{ \int_0^n \frac{m}{\sqrt{1 + \psi^2 m}} \operatorname{arctg} \frac{m}{\sqrt{1 + \psi^2 m^2}} d\psi \right\} = P_\gamma \sigma \Phi(m, n), \quad (4)$$

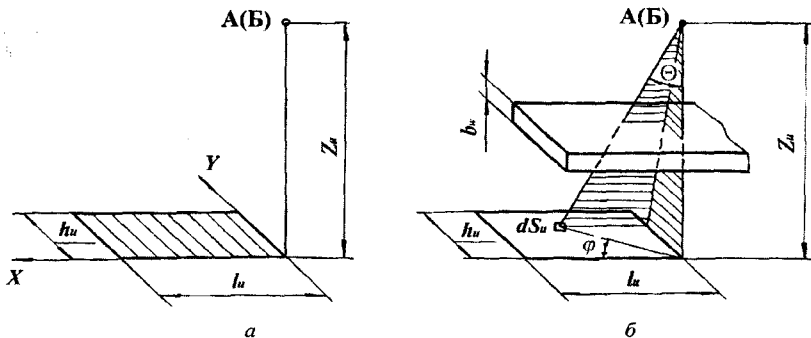
где:  $n = h_u / l_u = B_{wi} / L_{wi}$  – относительные размеры источника;  
 $1 / m = z_u / l_u$  – относительное расстояние до заданной точки;  $\psi = y / l_u$ .

Интеграл в формуле (4) в элементарных функциях не выражается, в связи с чем необходимо численное интегрирование.

Формула (4) позволяет находить мощность дозы ГИ в случае, показанном на рис. 2а, когда проекция точки совпадает с вершиной одного из углов прямоугольника.

Для вычисления мощности дозы ГИ из зоны перекрытой шасси, когда проекция точки А (В) находится в пределах площади источника (рис.1),





**Рис. 2.** Схемы к расчету мощности дозы излучения в точке А(В):  
**а** – от плоского прямоугольного источника;  
**б** – от плоского прямоугольного источника за защитным экраном

можно использовать правило аддитивности, по которому мощность дозы ГИ любого источника равна сумме мощностей доз ГИ всех составляющих его частей:

$$P_{\text{и}} = P_{\gamma} \sigma \left[ \Phi \left( \frac{z_1}{l_1}, \frac{h_1}{l_1} \right) + \Phi \left( \frac{z_1}{l_2}, \frac{h_1}{l_2} \right) + \Phi \left( \frac{z_1}{l_2}, \frac{h_2}{l_2} \right) + \Phi \left( \frac{z_1}{l_1}, \frac{h_2}{l_1} \right) \right] = P_{\gamma} \sigma \sum_{j=1}^4 \Phi_{\text{и}}(m_j; n_j), \quad (5)$$

где  $j$  – индекс (относительные габаритные параметры) соответствующей части зоны, из рис.1 видно, что таких зон 4.

В выражении (5) все слагаемые находятся по формуле (4), поскольку правило аддитивности позволяет свести рассматриваемый случай (рис. 1) к более простому (рис. 2а).

### 2.3. Мощность дозы ГИ из зоны перекрытой шасси в точке А (В) за защитным экраном толщиной $b_w$

Выражение мощности дозы ГИ в случае, показанном на рис. 2б, с учетом дозового фактора накопления  $B_{\delta}^q$ :

$$P = P_{\gamma} \sigma B_{\delta}^q \left\{ \int_0^{\text{arctg } n} d\varphi \int_0^{\text{arctg}(m \text{ cosec } \varphi)} \text{tg } \theta e^{-\mu b_w \text{sec } \theta} d\theta + \int_{\text{arctg } n}^{\pi/2} d\varphi \int_0^{\text{arctg}(m \text{ cosec } \varphi)} \text{tg } \theta e^{-\mu b_w \text{sec } \theta} d\theta \right\}, \quad (6)$$

где:  $e$  – основание натурального логарифма;

$\mu$  – коэффициент ослабления ГИ в защите.

Выполняя в выражении (6) интегрирование по  $\theta$  и используя интегрально-показательную функцию  $E_i$ , получим:

$$P = P_{\gamma} \sigma B_{\delta}^q \left\{ \frac{\pi}{2} \left[ E_i(-\mu b_w) \right] - \int_0^{\text{arctg } n} \left[ -E_i(-\mu b_w \sqrt{1+m^2 \text{sec}^2 \varphi}) \right] d\varphi - \int_{\text{arctg } n}^{\pi/2} \left[ -E_i(-\mu b_w \sqrt{1+m^2 n^2 \text{cosec}^2 \varphi}) \right] d\varphi \right\} = P_{\gamma} \sigma B_{\delta}^q \Phi(m; n; \mu b_w). \quad (7)$$

Для вычисления мощности дозы ГИ из зоны, перекрытой шасси, за защитным экраном толщиной  $b_w$ , когда проекция точки А (В) не совпадает с какой-либо из вершин прямоугольника, можно воспользоваться аддитивностью доз поверхностных источников ГИ:

$$P_{z_1} = P_{\gamma} \sigma B_{\delta}^q \sum_{j=1}^4 \Phi_{\text{и}}(m_j; n_j; \mu b_w) \quad (8)$$

В выражении (8) все слагаемые находятся по формуле (7), поскольку правило аддитивности позволяет свести рассматриваемый случай (рис. 1) к более простому (рис. 2б).

#### 2.4. Кратность ослабления дозы ГИ узлами шасси в точке А (Б)

На основании схемы расчета (рис.1) и формул (2-8) кратность ослабления дозы ГИ шасси определяется следующим уравнением:

$$K_{ш} = \frac{\pi \ln \frac{r^2 + z_i^2}{z_i^2}}{\pi \ln \frac{r^2 + z_i^2}{z_i^2} - \sum_{j=1}^4 \Phi_{ij}(m_{ij}; n_j) + B_s \sum_{j=1}^4 \Phi_{ij}(m_{ij}; n_j; \mu b_w)} \quad (9)$$

На рис. 3, 4 приведены результаты расчета (по формуле (9)) влияния шасси тракторов Т-170.61 и ДЭТ-250М2 на уровень защиты оператора от ГИ грунта. Минимальные значения радиуса поля ГИ выбирались исходя из условия нахождения проекции защитного экрана на грунте (образуемой лучами, проходящими из точки Б через край экрана) внутри поля излучения, максимальное соответствует бесконечному полю ГИ ( $r = 20$  м).

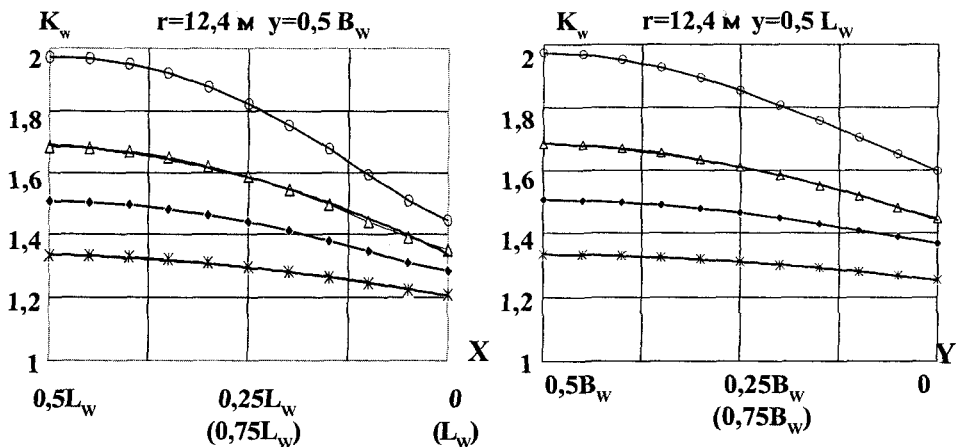
Формула (9) позволяет изучать влияние того или иного параметра шасси (машины) на уровень защиты оператора.

Из данных кривых кратностей ослабления излучения (рис.3) видно, что при удалении места расположения оператора от середины защитного экрана уровень защиты падает, причем чем ближе к краю шасси, тем быстрее.

Для Т-170.61 и ДЭТ-250М2 расположение оператора ближе к краю шасси по сравнению с расположением в средней части снижает уровень его защиты от рассмотренных источников ГИ до 50%. Расчеты по формуле (9) показывают, что при уменьшении радиуса излучающего диска падение уровня защиты оператора в зависимости от его размещения будет достигать гораздо больших значений. То же самое может происходить и на реальной РЭМ с неравномерным распределением источников ГИ на грунте.

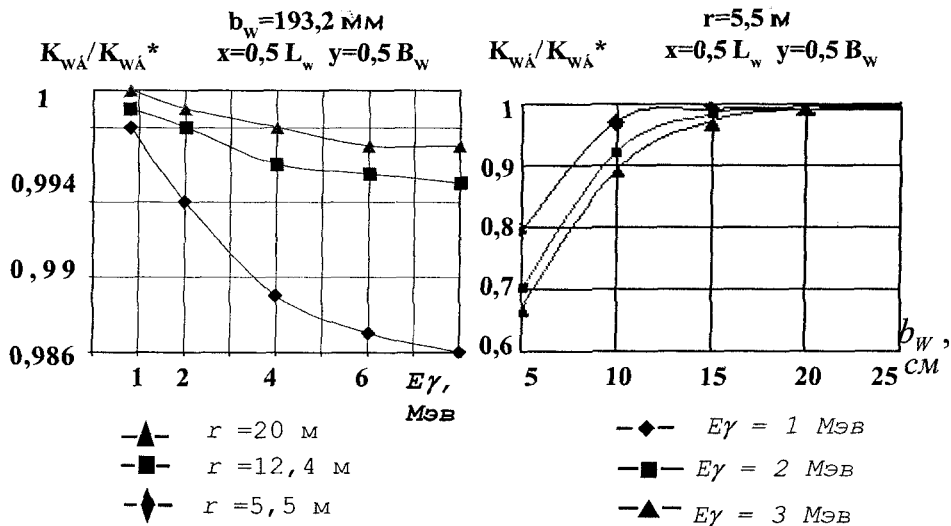
Из рис.4 видно, что влияние излучения из зоны, перекрытой шасси, на кратность ослабления излучения в расчетных точках за защитным экраном с параметрами шасси Т-170.61 при круговом поле ГИ незначительно. Условие сохраняется для наиболее вероятной энергии поля ГИ РЭМ ( $E_s \leq 3 \text{ Мэв}$ ) с  $r = 4,31$  м при  $b_w \geq 15 \text{ см}$ , с  $r = 5,5$  м при  $b_w \geq 10 \text{ см}$ , с  $r = 20$  м при  $b_w \geq 3 \text{ см}$ . Увеличение радиуса излучающего диска и уменьшение энергии поля ГИ приводит к значительному уменьшению влияния излучения из зоны, перекрытой защитным экраном шасси, на мощность дозы ГИ в расчетных точках.

Очевидно, что все основные выводы по защите оператора от радиации узлами шасси, полученные для Т-170.61 и ДЭТ-250М2, имеют место и для других гусеничных тракторов класса 10...25. Используя приведенную выше методику, скорректировав расположение и габаритно-массивные параметры защитного экрана, можно оценить влияние узлов шасси на защиту для любой гусеничной или колесной машины.



Т-170.61:    \* — точка А    △ — точка В  
 ДЭТ-250М2:    ◆ — точка А    ⊙ — точка В

**Рис. 3.** Расчетная (по формуле (9)) кратность ослабления ГИ узлами шасси на рабочем месте оператора для различных значений  $L_w$  и  $B_w$  (источник ГИ на грунте,  $E_\gamma = 0,8 \text{ МэВ}$ )



**Рис. 4.** Отношение кратностей ослабления ГИ с учетом ( $K_{wB}$ ) и без учета ( $K_{wB}^*$  при  $P_{02} = 0$ ) излучения, проходящего через защитный экран шасси с габаритными размерами трактора Т-170.61

## 2.5. Кратность ослабления дозы ГИ узлами кабины

Для оценки разрабатываемых образцов (по уровню защиты экипажа, габаритно-массовым параметром кабины) на начальных этапах проектирования нужна упрощенная математическая модель кабины, отражающая взаимосвязи между основными параметрами защитной кабины и характеристиками шасси, с учетом выполняемой на РЗМ работы. Схема такой взаимосвязи показана на рис. 5.

Допустимое изменение массы кабины определяется из систем математических выражений нагрузок на шасси, приведенных в диссертации.

Задачу оптимизации массы кабины по объему можно сформулировать следующим образом: при заданном, необходимом для размещения экипажа и оборудования, внутреннем объеме площадь поверхности стенок кабины должна быть минимальна. С учетом допущений по форме кабины этому требованию удовлетворяет кабина в форме куба.

Из решения системы уравнений, описывающих габаритно-массовые параметры теоретической кабины (в форме куба с одинаковой толщиной стенок), получена формула для расчета толщины стенки:

$$b = \sqrt[3]{\frac{V_{ВН}}{27} + \frac{M_k}{12\rho} + \sqrt{\frac{V_{ВН} M_k}{162\rho} + \frac{M_k^2}{144\rho^2}}} + \sqrt[3]{\frac{V_{ВН}}{27} + \frac{M_k}{12\rho} - \sqrt{\frac{V_{ВН} M_k}{162\rho} + \frac{M_k^2}{144\rho^2}}} - \frac{2\sqrt[3]{V_{ВН}}}{3}, \quad (10)$$

где  $M_k$  – масса кабины, удовлетворяющая допустимому интервалу, рассчитанному по нагрузкам на шасси;  $V_{ВН}$  – внутренний объем кабины,  $\rho$  – плотность противорадиационного материала (ПРМ) стенок кабины.

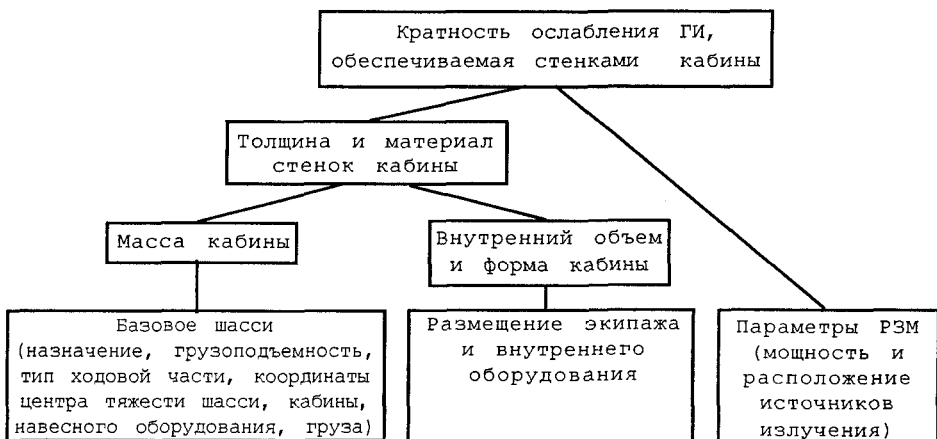


Рис. 5. Схема зависимости защиты экипажа стенками кабины от основных параметров машины и характеристик источника ГИ

Проверка вариантов защитных кабин с разным внутренним объемом, численностью экипажа до двух человек и размещением внутри кабины различного оборудования показала хорошую сходимость габаритно-массовых параметров реальных кабин и рассчитанных по методике (с формой кабины в виде куба.) Максимальное расхождение результатов не превышало 10%, что вполне приемлемо для практических расчетов.

Полученная в формуле (10) толщина ПРМ стенок-панелей является основным параметром для расчета уровня защиты экипажа от излучений.

2.6. Техническая производительность БА - главный критерий его эффективности (Б.М. Позин), для РЗМ может оцениваться только после определения необходимого уровня защиты оператора (массы ПРЗ).

В связи с ростом массы машины за счет массы ПРЗ кабины необходимо учитывать:

- рост величины усилия сопротивления передвижению

$$\Delta R_f = R_{fB} - R_{fB_w} = f(M_B - M_{B_w}) = f\Delta M_{ПРЗ},$$

где  $f$  - коэффициент сопротивления передвижению;  $M_{B_w}$  и  $M_B$  - соответственно масса базового БА и машины с ПРЗ;  $\Delta M_{ПРЗ}$  - увеличение массы машины с ПРЗ.

- изменение удельных тяговых усилий  $\varphi_{крБ}$  машины с ПРЗ по сравнению с базовыми  $\varphi_{крБ_w}$

$$\varphi_{крБ} = \varphi_{крБ_w} / \left( 1 + \frac{\Delta M_{ПРЗ}}{M_{B_w}} \right) \quad (11)$$

У БА с ПРЗ оператора без изменения передаточных чисел трансмиссии  $i_B$  тяговое усилие уменьшится на  $\Delta \varphi_{крБ} = f\Delta M_{ПРЗ} / M_{B_w} = 0,02$  (при росте массы БА с ПРЗ на 25% и  $f = 0,08$ ). Для Т-170 такое изменение снизит производительность БА на грунтах II категории менее, чем на 1%.

У БА с ПРЗ оператора с изменением передаточных чисел трансмиссии оптимальные  $i_B = i_{B_w} \left( 1 + \frac{\Delta M_{ПРЗ}}{M_{B_w}} \right)$  (из формулы 11 с учетом  $\Delta R_f$ )

должны соответствовать оптимальным  $\varphi_{крБонт}$ . Для БА на базе Т-170 с ПРЗ оператора с  $i_{Bонт}$  при  $\varphi_{крБонт} \approx 0,7$  (В.И. Костюченко) производительность агрегата вырастет при  $\Delta M_{ПРЗ} = 2300$  кг на 9%, при  $\Delta M_{ПРЗ} = 5500$  кг на 22%.

Дальнейшее увеличение производительности такого бульдозера возможно при соответствующем (пропорциональном) увеличении емкости отвала.

2.7. Расчет эффективности работы машины с биологической защитой оператора

Эффективность использования ПРЗ оператора при заданной ПДД определяется тремя основными факторами: характеристиками поля ГИ РЗМ и, в первую очередь, мощностью дозы излучения; уровнем биологической защиты оператора и стоимостью затрат на ее создание; продолжительностью рабочего времени смены, в том числе и временем, затрачиваемым на ввод и вывод машины из зоны работ.

Затраты на технику с защитой оператора от ионизирующих излучений условно разделим на четыре части: затраты на создание машины с обычной кабиной, подобной по размерам и внутреннему оборудованию кабине с защитой от ГИ; эксплуатационные затраты (стоимость горюче-смазочных материалов, затраты на капитальный и текущий ремонты, заработная плата обслуживающего персонала и т.д.); затраты на содержание оператора; затраты на создание защитного экрана.

Первые две части затрат можно считать условно постоянными (практически не зависящими от защиты) для любой машины, использующей одинаковое шасси (базовую машину) и подобную по размерам и внутреннему оборудованию кабину, что позволяет пренебречь ими в расчетах эффективности использования биологической защиты оператора.

### 2.7.1. Эффективность применения защитного экрана в течение чистого времени работы

Уровень и стоимость защиты определяется массой ПРМ.

Зависимость уровня защиты оператора (кратности ослабления излучения) от массы ПРМ подробно рассмотрена во второй главе.

Затраты на создание защитного экрана  $Z_3$  можно выразить в зависимости от затрат на покупку материала защиты  $Z_{ПРМ}$  в следующем виде:

$$Z_3 = k_3 \cdot Z_{ПРМ} = k_3 \cdot C_{ПРМ} \cdot M_{ПРМ} \quad , \quad (12)$$

где  $k_3$  – коэффициент, учитывающий затраты на изготовление и установку защитного экрана;  $C_{ПРМ}$  – цена единицы массы ПРМ;  $M_{ПРМ}$  – масса ПРМ.

При создании защитного экрана путем заливки свинца в полости кабины  $k_3 = 5 \dots 7$  (коэффициент получен в результате анализа затрат на изготовление различных защитных кабин на ОАО «ЧТЗ»).

Эффективность применения защиты оператора от ионизирующих излучений может быть оценена для конкретной зоны работ (определяемой мощностью дозы ГИ), соотношением затрат на содержание оператора без защитного экрана к суммарным затратам на защитный экран и содержание оператора за ним:

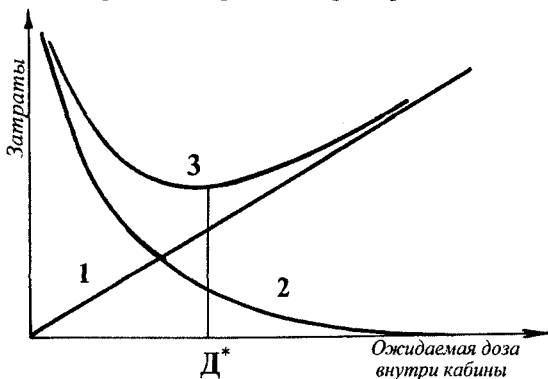
$$\mathcal{E}_3 = \frac{Z_{\Sigma 0}}{Z_3 + Z_{П}} \quad , \quad (13)$$

где  $Z_{\Sigma 0} = Z_0 + Z_p$  – затраты на содержание оператора;  $Z_{П} = Z_{\Sigma 0} / K$  – затраты на содержание оператора за защитой с уровнем  $K$ ;  $Z_0$  – затраты на обеспечение человеку нормальных условий существования (заработная плата, социальные затраты и т.д.);  $Z_p$  – затраты на обеспечение мер по реабилитации ущерба, причиненного здоровью радиацией.

Проблема оценки ущерба здоровью остается дискуссионной и на сегодняшний день. В проекте норм радиоационной безопасности НРБ-99

затраты на реабилитацию приняты как 3000 у.е. (1 у.е.  $\approx$  28 руб. на 1.03.06) на 1 чел.-Зв. (человеко-зиверт).

Графически затраты на защитный экран и содержание оператора показаны на рис. 6. Значению дозы  $D^*$  соответствует максимальная эффективность применения защитного экрана (исходя из минимальных суммарных затрат по критерию «эффект-затраты»).



- 1 — затраты на содержание оператора,
  - 2 — затраты на создание защитного экрана,
  - 3 — суммарные затраты на содержание оператора за защитой и создание защитного экрана.
- $D^*$  — максимальная эффективность защитного экрана исходя из минимальных суммарных затрат.

**Рис. 6.** Соотношение затрат на содержание оператора и создание защитного экрана в зависимости от дозы ГИ

### 2.7.2. Учет влияния на производительность машины времени ее ввода и вывода из зоны радиоактивного заражения

При оценке эффективности использования техники на РЗМ необходимо учитывать время ее ввода и вывода из зоны повышенного излучения, так как с момента ввода машины в зону начинается набор оператором ПД.

Чем выше уровень радиационного заражения местности и дальше находится место работы от места ввода машины в зону повышенных ионизирующих излучений, тем меньше остается времени (определяемого по ПДД оператора) непосредственно на работу.

В расчетах экономической эффективности обычно используют производительность за час сменного времени:

$$\omega = \omega_{\text{ч}} \cdot \tau, \quad (14)$$

где  $\omega_{\text{ч}}$  — производительность машины за час чистого времени работы;  $\tau$  — коэффициент использования рабочего времени смены.

Коэффициент  $\tau$  для машины, работающей на РЗМ, в основном определяется временем ее ввода и вывода из зоны:

$$\tau = \frac{T - T_{\text{вв}}}{T}, \quad (15)$$

где  $T_{\text{вв}}$  — время, затрачиваемое на ввод-вывод машины из зоны работ на исходную площадку;  $T$  — время работы машины.

Для продолжения работы после набора оператором ПДД его нужно заменять, при этом необходим вывод машины из зоны повышенных ионизирующих излучений

и ввод ее новым оператором обратно. Таким образом, при работе на машине нескольких операторов формула (15) примет вид:

$$\tau = \frac{T - n_0 T_{\text{вв}}^*}{T}, \quad (16)$$

где:  $n_0$  – количество работающих на машине операторов,  $T_{\text{вв}}^*$  – время ввода-вывода машины из зоны работ на исходную площадку одним оператором.

Количество работающих на машине операторов можно определить, используя формулу (17)

$$n_0 = \frac{T}{T_{\text{см}}} = \frac{T \cdot P_0}{K_M \cdot \text{ПДД}^*}, \quad (17)$$

где  $\text{ПДД}^* - \text{ПДД}$  для одного оператора.

Отсюда затраты на содержание операторов

$$Z_{\Sigma 0} = Z_0 + Z_P = n_0 \cdot Z_0 + Z_P = \frac{T \cdot P_0}{K_M \cdot \text{ПДД}} \cdot Z_0 + \text{ПД} \cdot Z_P, \quad (18)$$

где:  $Z_0$  – затраты на содержание одного оператора без учета затрат на реабилитацию ущерба здоровью от облучения;  $\text{ПД} = (T \cdot P_0) / K_M$  – общая ПД, полученная операторами;  $Z_P$  – затраты на реабилитацию ущерба, причиненного здоровью радиацией.

### 2.7.3. Оценка эффективности работы машины с биологической защитой оператора

В ряде работ критерием эффективности усовершенствования считается разность в стоимости выполнения одной и той же работы существующим и усовершенствованным образцом.

Рассмотрим эффективность применения на машине ПРЗ оператора, сравнив два различных по уровню защиты оператора варианта.

Относительная эффективность использования на машине первого варианта защиты по сравнению со вторым (считая производительность машин в течение чистого времени работы условно одинаковой) с учетом формул (13), (14), (16) определяется следующим соотношением:

$$\mathcal{E}_{31-2} = \frac{\mathcal{E}_{31}}{\mathcal{E}_{32}} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_2} = \left( \frac{Z_{32} + Z_{\Sigma 02}}{Z_{31} + Z_{\Sigma 01}} \right) \cdot \frac{T - n_{01} T_{\text{вв}}^*}{T - n_{02} T_{\text{вв}}^*}, \quad (19)$$

где 1 и 2 – индексы соответствующих вариантов защиты.

Сравнить эффективность двух различных машин, выполняющих одну и ту же работу на РЗМ можно, преобразуя формулу (19) с учетом производительности машин, а также затрат на шасси (базовую машину) и оборудование кабин

$$\mathcal{E}_{1-2} = \frac{\omega_{31}}{\omega_{32}} \cdot \left( \frac{Z_{32} + Z_{32} + Z_{32} + Z_{\Sigma 02}}{Z_{31} + Z_{31} + Z_{31} + Z_{\Sigma 01}} \right) \cdot \frac{T - n_{01} T_{\text{вв}}^*}{T - n_{02} T_{\text{вв}}^*}, \quad (20)$$

где:  $\mathcal{E}_{1-2}$  – относительная эффективность первой машины по сравнению со второй; 1 и 2 – индексы, означающие соответственно первую и вторую машины;  $Z_{3i}$  – затраты на создание машины с обычной кабиной, подобной по размерам и внутреннему оборудованию кабине с защитой от ГИ;  $Z_{\Sigma}$  – эксплуатационные затраты, зависящие от времени использования машин.



На рис. 7 приведен вариант схемы расчета параметров машины с ПРЗ оператора с использованием разработанных математических моделей.

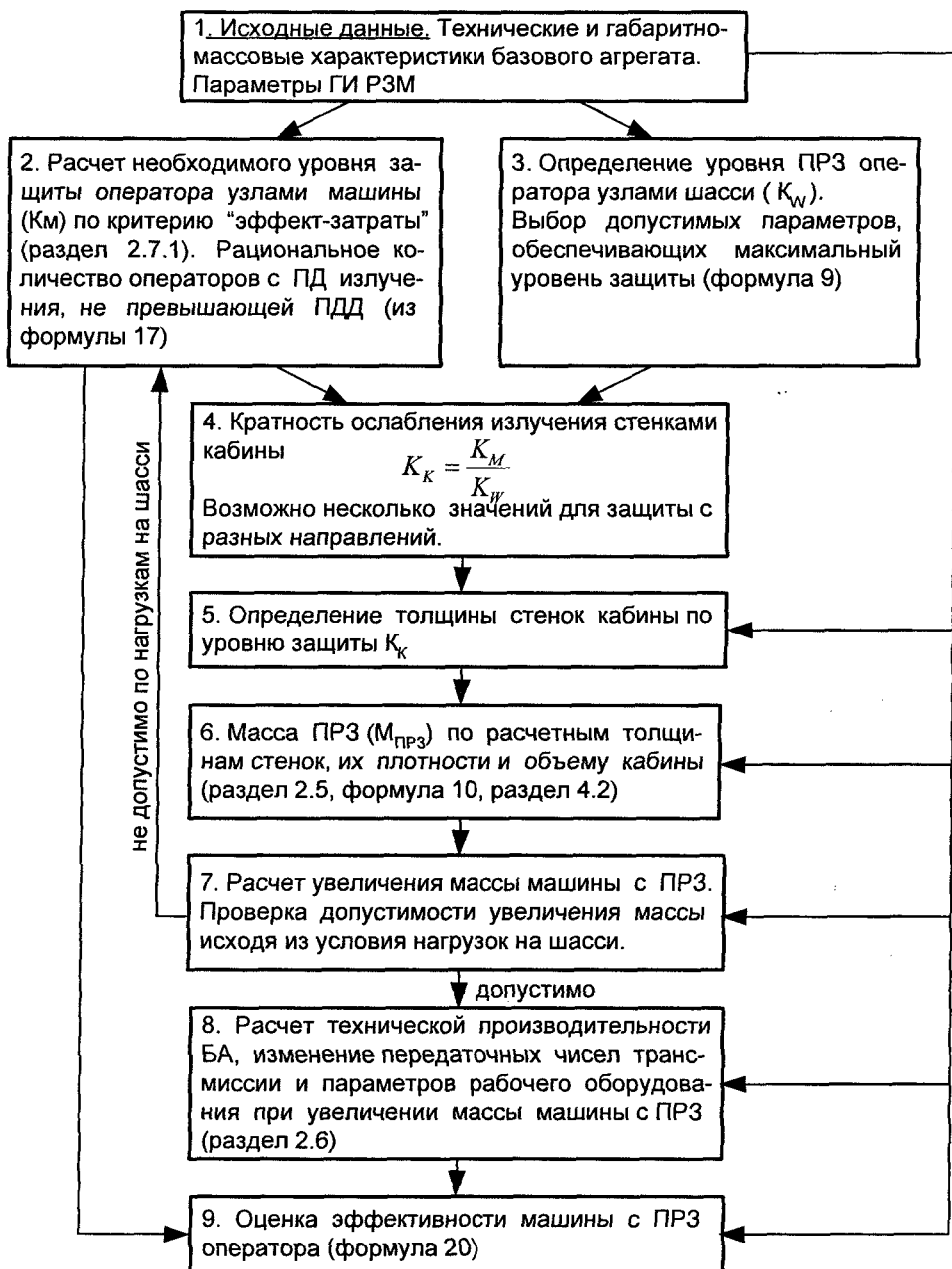


Рис. 7. Схема расчета машины с ПРЗ оператора на базе серийного бульдозера

**В третьей главе** приводится экспериментальная проверка результатов теоретических исследований параметров машины и расчета защищенности оператора узлами шасси и кабиной, а также оценка эффективности ПРЗ кабины и качества изготовления отдельных её элементов.

В качестве объекта испытаний использовались опытные образцы бульдозеров ДЗ-171.1КЗ (на базе трактора Т-170.61), ДЗ-132-1КЗ (на базе трактора ДЭТ-250М2) и демонтированные с них кабины.

Испытания ПРЗ оператора проводились по разработанным НИИСтали (г. Москва), ФГУП 15 ЦНИИ МО РФ (г. Нахабино, Московская обл.) и РФЯЦ ВНИИТФ (г. Снежинск, Челябинская обл.) методикам на установках «Имитатор», «Арка» и с помощью плоского гамма-излучателя.

Работы по экспериментальному исследованию технических параметров и защитных свойств бульдозеров были разбиты на этапы:

- на первом этапе оценивались технические параметры БА и защищенность оператора элементами трактора в целом;

- на втором этапе проводились измерения коэффициентов ослабления ГИ защитной кабиной, измерялись распределения экспозиционной дозы ГИ внутри кабины;

- на третьем этапе проводились эксперименты по изучению возможности проведения дефектоскопии крупногабаритных и оптически толстых (для гамма-квантов) деталей кабины методом гаммаграфии с использованием рентгеновских плёнок.

В ходе испытаний:

3.1. Получены экспериментальные значения кратностей ослабления излучения (от различных источников ГИ) на рабочем месте оператора элементами бульдозеров на базе шасси тракторов Т-170.61 и ДЭТ-250М2.

Результаты хорошо согласуются с данными теоретических исследований. Расхождение между расчетами по формуле (9) и экспериментом (погрешность измерений 10...25%) не превышало 17% (при среднем значении 11%) и 7% в сравнении с расчетом по ГОСТ В26457-85.

3.2. Определены ослабленные по защите от излучений зоны бульдозеров. Показано значительное влияние этих зон на уровень защищенности оператора. Экспериментально подтверждена зависимость ослабленных зон машины от места расположения кабины на шасси.

3.3. Предложена и проверена возможность проведения дефектоскопии оптически толстых (для гамма-квантов) защитных экранов кабины методом гаммаграфии. При толщине свинца до 50 мм уверенно определяются дефекты размерами свыше 5 мм. Метод позволяет проводить оперативную качественную и количественную оценку ПРЗ кабины и ее отдельных элементов.

3.4. Подтверждено увеличение производительности БА при одновременном соответствующем увеличении массы, передаточных чисел трансмиссии и емкости отвала. Расхождение экспериментальной и расчетной оценок не превышает 6%.

Четвертая глава посвящена вопросам проектирования и расчета параметров техники и защиты оператора от ГИ РЗМ для конкретных машин. Рассматриваются особенности параметров и компоновки техники, работающей на РЗМ, варианты конструкции и технологии изготовления защитных кабин, а также их влияние на защиту оператора от излучений. Уточняются коэффициенты перехода от теоретической модели ПРЗ кабины к ПРЗ кабины реальной.

#### 4.1. Предельный уровень ПРЗ оператора

Расчеты по методике, приведенной во второй главе, позволяют на начальной стадии проектирования определять максимально возможный уровень защиты оператора стенками кабины у конкретных машин.

Рассмотрим вариант установки на серийные гусеничные бульдозеры одноместной защитной кабины с одинаковой толщиной стенок-панелей и внутренним объемом  $1,12\text{ м}^3$ , полученным исходя из размещения оператора по минимальным размерам ГОСТ 27250-87, ГОСТ 12.2.120-88, РЭО СВ-80.

Из решения системы математических выражений допустимых нагрузок для 9 основных расчетных случаев транспортного и тягового режимов работы бульдозера следует, что по несущей способности ходовой части шасси трактора Т-170.61 может быть дозагружено на 5600 кг, а ДЭТ-250М2 на 11 000 кг. Около 90% этой массы может быть отведено на защиту, 10% на усиление рамы и конструкции кабины.

Уровень защиты оператора машины стенками кабины находится по формуле (10).

У рассматриваемых вариантов толщинами стенок кабины обеспечиваются следующие значения кратности ослабления ГИ с  $E_r = 0,8\text{ Мэв}$  :

– около 100 крат для кабины бульдозера на базе трактора Т-170.61 (масса свинцового экрана 5000 кг, толщина стенки 61 мм) ;

– около 5000 крат для кабины бульдозера на базе трактора ДЭТ-250М2 (масса свинцового экрана 10000 кг, толщина стенки 114 мм) .

Определив теоретически (формула 9) или экспериментально кратность ослабления ГИ узлами шасси, можно найти общий уровень защиты оператора узлами машины. Так, например, исходя из вышеизложенного, у бульдозера на базе трактора Т-170.61, оборудованного кабиной с одинаковой толщиной стенок, максимально возможное значение кратности ослабления ГИ грунта с  $E_r = 0,8\text{ Мэв}$  на рабочем месте оператора составит:

$$K_M = K_W K_K = 2,75 \cdot 100 = 275 ,$$

где  $K_W = 2,75$  – экспериментальное значение по ГОСТ В 23731-79.

В зависимости от условий работы на конкретной РЗМ возможно дальнейшее повышение уровня защиты при использовании кабины с разной толщиной стенок. В особых случаях возможно некоторое увеличение массы кабины, а следовательно, и уровня защиты за счет уменьшения допускаемых нагрузок на рабочий орган (отвал бульдозера и др.) .

#### 4.2. Особенности расчета ПРЗ реальной кабины

Защита кабины реальной машины чаще всего выполняется дифференцированной. При постоянной массе кабины, определяемой характеристиками машины, изменение толщины и связанное с ним изменение массы одних панелей приведет к перераспределению этого изменения массы на другие панели: снижение массы одних панелей вызовет такое же увеличение массы других панелей и наоборот. Тем самым можно повышать уровень защиты (толщину стенок) с одних направлений за счет других.

Форма реальной кабины определяется не только антропометрическими параметрами человека и возможностью получения высокого уровня защиты, но и общей компоновкой машины, поэтому не всегда возможно получить близкое к рациональному соотношение размеров кабины.

Площадь поверхности кабины определяется двумя факторами: внутренним пространством кабины и толщиной ПРМ. Толщина ПРМ – величина переменная, зависящая не только от компоновки внутреннего объема кабины, но и от ее массы, конструкции стенок...

Т.к. обычно внутренние размеры кабины значительно больше толщины ПРМ и разница толщин ПРМ стенок, пола и крыши невелика (мало влияет на форму кабины), то рациональность соотношения размеров реальной кабины можно оценивать по площади внутренней поверхности стенок.

По параметрам теоретической кабины, методика нахождения которых приведена во второй главе, используя коэффициенты, можно довольно точно определить толщину стенки реальной кабины. Значения коэффициентов для различных типов кабин приведены в диссертации.

#### 4.3. Рекомендации по выбору уровня ПРЗ оператора на машине

В диссертации рассмотрены конкретные гусеничные и колесные машины, даны рекомендации по повышению уровня ПРЗ оператора. Особое внимание уделено конструкции защитных кабин.

Результаты расчета по предлагаемой методике относительной годовой ( $T=1700$  часов) эффективности БА на базе трактора Т-170.61 (кабина с одинаковой толщиной стенок,  $V_{\text{вн}}=1,646 \text{ м}^3$ , ПРМ – свинец) на РЗМ ( $E=0,8 \text{ МэВ}$ ,  $P_{0\gamma}=0,15 \text{ мЗв/ч}$ ) приведены в таблице.

Кабина	Толщина ПРМ, см	Кратность ослабления ГИ		$n_{0\gamma}$ , чел	Затраты, у.е.		$\mathcal{E}_{31-1}$	$\mathcal{E}_{1-1}$
		кабины	машины		$Z_{\text{БЮ}}$	$Z_3$		
серийная	-	-	2,75	5	20278	-	1	1
с защитой от ГИ, $M_{\text{ПРМ}}=2094 \text{ кг}$	2,13	4,64	12,75	1	4060	3769	$3,63^{*2}$	$3,96^{*3}$ $4,07^{*4}$
с защитой от ГИ, $M_{\text{ПРМ}}^{*1}=5000 \text{ кг}$	4,86	57,43	157,93	1	4005	9000	2,18	$2,66^{*3}$ $2,83^{*4}$

\*1 – максимально возможная масса ПРМ.

\*2 – максимальная эффективность ПРЗ по критерию "эффект-затраты".

\*3 – эффективность бульдозера с оптимальным передаточным числом трансмиссии.

\*4 – эффективность бульдозера с оптимальным передаточным числом трансмиссии и дополнительно увеличенной емкостью отвала.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научно-технической задачи выбора на этапе проектирования рациональных параметров работающей на РЗМ машины и разработки с учетом этого рекомендаций, позволяющих повысить эффективность ее работы и защиту оператора.

Выполненные исследования позволили получить следующие основные результаты и сделать выводы:

1. Разработаны математические модели и методики, раскрывающие на начальном этапе проектирования (в том числе и без подробной компоновочной схемы машины) взаимосвязи параметров ПРЗ оператора с другими функционально-стоимостными характеристиками машины и позволяющие выбирать основные параметры техники, обеспечивающие ее максимальную эффективность.

Показано, что повышение эффективности машины на РЗМ в основном достигается рациональной (по критерию "эффект-затраты") ПРЗ оператора и корректировкой тяговых характеристик путем выбора рациональных передаточных чисел трансмиссии.

2. Получены зависимости уровня защиты оператора от места расположения кабины на шасси. Рассмотрена ПРЗ оператора узлами шасси гусеничного трактора класса 10...25 от ГИ грунта РЗМ с  $E_{\gamma} \leq 3 \text{ МэВ}$ . При этом более 90% дозы оператор машины без защитной кабины получает из зоны не перекрытой экраном шасси, следовательно, вклад шасси в защиту в значительной мере определяется геометрическими размерами шасси; удаление места расположения оператора от центра защитного экрана снижает уровень защиты оператора до 50%, в реальных условиях РЗМ падение уровня защиты может достигать и гораздо больших значений.

Оценена зависимость уровня защиты операторов стенками кабины от их расположения. Получены коэффициенты перехода от толщины отдельных стенок кабины теоретической к толщинам стенок кабины реальной.

3. Основное направление повышения технической производительности бульдозера при установке ПРЗ оператора достигается увеличением тяговых усилий за счет изменения передаточных чисел трансмиссии пропорционально росту массы машины (массы ПРЗ).

4. Показана возможность и преимущества использования метода гаммаграфии при экспериментальной проверке уровня ПРЗ и качества изготовления кабины. Совместно с РФЯЦ ВНИИТФ подобраны параметры метода, позволяющие при толщине свинцового экрана до 50 мм уверенно обнаруживать дефекты защиты размерами свыше 5 мм.

5. Проведен анализ и даны рекомендации по выбору базового шасси для машин, работающих на РЗМ. Лучшие показатели ПРЗ оператора в зависимости от его размещения у машин на базе гусеничных тракторов имеет техника с расположением кабины в средней части шасси.

Для основных промышленных тракторов России Т10 и ДЭТ-250 и их модификаций аналитически определены параметры защиты оператора от ГИ узлами шасси и максимально возможный уровень защиты стенками кабины.

У бульдозера на базе трактора Т-170.61, оборудованного кабиной с одинаковой толщиной ПРМ стенок, максимально возможная кратность ослабления излучения (при  $E_0 = 0,8 \text{ Мэв}$ ) узлами машины составляет 275.

Для трактора Т10 использование болотной модификации, имеющей большие габаритные размеры и расположение кабины ближе к середине защитного экрана шасси, приводит к повышению уровня защиты оператора на 17%.

Для ДЭТ-250 перенос одноместной кабины на 670 мм влево (типа ДЭТ-320) повышает уровень защиты оператора на 9%.

6. Предложены новые конструктивные и технологические решения, позволяющие улучшить ПРЗ оператора, а также снизить затраты, повысить качество и безопасность работ при изготовлении кабины. Разработки защищены патентами РФ на изобретения № 1782843, 2009555, 2060189, 2060190.

7. Методики, зависимости, конкретные конструктивные решения подтверждены экспериментальными исследованиями основных центров страны – ФГУП 15 ЦНИИ МО РФ, НИИСТАЛИ, РФЯЦ НИИТФ, ГУП 38 НИИИ БТ и др., занимающихся проблемами работы техники с защитой оператора на РЗМ, и применены при создании ряда машин, используемых в зонах радиоактивного заражения.

#### Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Гусев С.А. Методика расчета параметров противорадиационной защиты оператора. Тезисы докладов на XL научно-технической конференции. Челябинск: ЧГАУ, 2000, С. 340-341.

2. Гусев С.А., Позин Б.М., Трояновская И.П. Анализ влияния узлов шасси на уровень защиты оператора от гамма-излучения грунта радиоактивно зараженной местности. Вестник Академии транспорта РФ, Курган: Изд. КГУ, 2001, №3-4, С. 132-139.

3. Гусев С.А. Методика расчета основных параметров кабины для машин, работающих на радиоактивно зараженной местности. Вестник Академии транспорта РФ, Курган: Изд. КГУ, 2001, №3-4, С. 140-151.

4. Гусев С.А. Определение эффективности использования противорадиационной защиты оператора для машин, работающих на радиоактивно зараженной местности. Вестник Академии транспорта РФ, Курган: Изд. КГУ, 2001, №3-4, С. 157-161.

5. Бондарь В.Н., Гусев С.А., Ожегов Г.П., Раевский В.И. Особенности конструкции и технологии изготовления кабины с защитой оператора от ионизирующих излучений. «Тракторы и сельскохозяйственные машины», М.: 2003, №12, С. 45-48.

6. Гусев С.А. Зависимость уровня противорадиационной защиты кабины от количества и размещения экипажа. Вестник Уральского отделения Российской академии транспорта, Тюмень, 2005, Вып.5, С. 54-55.

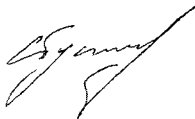
7. Гусев С.А. К вопросу расчета уровня противорадиационной защиты кабины с разной толщиной стенок. Вестник Уральского отделения Российской академии транспорта, Тюмень, 2005, Вып.5, С. 56.

8. Гусев С. А., Котнов В. П., Ожегов Г. П., Раевский В. И. Патент РФ на изобретение № 1782843. Способ изготовления панелей с защитой от радиоактивных излучений.

9. Гусев С. А., Котнов В. П., Ожегов Г. П., Раевский В. И. Патент РФ на изобретение № 2009555. Узел соединения панелей с защитой от радиоактивных излучений.

10. Гусев С. А., Ожегов Г. П., Раевский В. И. Патент РФ на изобретение № 2060189. Узел соединения панелей с защитой от радиоактивных излучений.

11. Гусев С. А., Ожегов Г. П., Раевский В. И. Патент РФ на изобретение № 2060190. Узел соединения панелей с защитой от радиоактивных излучений.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'С. А. Гусев', written in a cursive style.

Подписано к печати 28.08.06. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 1. Тираж 70 экз. Заказ № 464

---

ООО "Типография ЧТЗ", 454007, г.Челябинск, пр.Ленина, 3.