

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(национальный исследовательский университет)»

На правах рукописи



**Гусев Сергей Артурович**

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ГУСЕНИЧНЫХ И КОЛЕСНЫХ МАШИН ДЛЯ РАБОТЫ НА  
РАДИОАКТИВНО ЗАРАЖЕННОЙ МЕСТНОСТИ**

Специальность 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины»

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Научный консультант:  
доктор технических наук, доцент  
Кондаков С.В.

Челябинск – 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕРМИНЫ И АББРЕВИАТУРЫ	6
ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	9
ВВЕДЕНИЕ	12
<b>ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	<b>24</b>
1.1. Общая оценка радиационного загрязнения природной среды	24
1.2. Специальная техника для работы на радиоактивно зараженной местности	28
1.2.1. Машины с защитой оператора от радиации	34
1.2.2. Особенности использования робототехнических средств, с учетом их применения при ликвидации аварий на ЧАЭС и ФАЭС	41
1.3. Существующие методы расчета и проектирования машин для работы на радиоактивно зараженной местности	51
1.4. Основное противоречие влияния противорадиационной защиты на параметры машины. Цель и задачи исследования	62
1.5. Выводы по первой главе	66
<b>ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАШИН, РАБОТАЮЩИХ НА РАДИОАКТИВНО ЗАРАЖЕННОЙ МЕСТНОСТИ</b>	<b>68</b>
2.1. Основные положения предлагаемой методологии проектирования машин с противорадиационной защитой	69
2.2. Основы комплексной технико-экономической оценки машины с противорадиационной защитой оператора	76
2.3. Оценка эффективности работы машины на радиоактивно зараженной местности	79

2.4. Предлагаемая методика проектирования и расчета машин с противорадиационной защитой	84
2.4.1. Выбор базового шасси	86
2.4.2. Расчет противорадиационной защиты узлами машины	87
2.4.3. Алгоритм определения оптимальных и рациональных технических параметров машины при установке защиты	89
2.5. Выводы по второй главе	97
<b>ГЛАВА 3. ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШАССИ, РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ, КАБИНЫ И УРОВНЯ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ</b>	100
3.1. Методика оценки защищенности оператора узлами шасси	101
3.2. Исследование влияния отдельных параметров шасси на противорадиационную защиту	107
3.2.1. Шасси колесной грузовой машины	108
3.2.2. Шасси гусеничного трактора	111
3.2.3. Оценка сходимости результатов предлагаемой методики с расчетами по ГОСТ и экспериментом	116
3.3. Расчет защиты оператора узлами рабочего оборудования	117
3.4. Влияние параметров рабочего оборудования на защиту оператора	124
3.4.1. Отдельные параметры оборудования и уровень защиты	125
3.4.2. Оценка сходимости результатов предлагаемой методики с результатами предшествующих исследований	128
3.5. Методика расчета основных параметров защитной кабины	130
3.5.1. Зависимость массы кабины от базового шасси для гусеничных и колесных машин	132
3.5.2. Определение толщины стенок кабины, в зависимости от ее массы, объема, конструкции стенок и размещения экипажа	142
3.5.3. Проверка сходимости основных параметров реальной кабины и рассчитанных по предлагаемой методике	155
3.6. Выводы по третьей главе	157

<b>ГЛАВА 4. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ БАЗОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАШИН С УЧЕТОМ УСТАНОВКИ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ</b>	160
4.1. Технические параметры и общая компоновка машины, работающей на радиоактивно зараженной местности	163
4.1.1. Гусеничная машина	163
4.1.2. Колесная машина	167
4.2. Связь технических характеристик с габаритно-массовыми параметрами машины	171
4.3. Влияние установки противорадиационной защиты на производительность работы машины	174
4.3.1. Сопротивление движению и буксование	175
4.3.2. Тяговый КПД и оптимальные тяговые усилия	178
4.4. Определение параметров рабочего оборудования в зависимости от массы машины с учетом защиты	181
4.5. Влияние противорадиационной защиты на прочностные характеристики шасси	187
4.6. Расчетно-экспериментальная оценка производительности машин с учетом перемещения между объектами своим ходом	196
4.7. Оценка схемы силового привода грузового автомобиля по эффективности	200
4.8. Техничко-экономическая оценка машины с противорадиационной защитой	207
4.9. Выводы по четвертой главе	211
<b>ГЛАВА 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ И КОНСТРУКЦИЙ МАШИН С ЗАЩИТОЙ ОТ РАДИАЦИИ</b>	214
5.1. Экспериментальная оценка защиты от радиации узлами машины	215
5.1.1. Цель, объекты и методика испытаний	215

5.1.2. Определение уровня защиты узлами машины от радиации на установках «Имитатор» и «Арка»	219
5.1.3. Проверка противорадиационной защиты кабины на плоском гамма-облучателе. Оценка качества изготовления кабин	222
5.1.4. Результаты экспериментов по оценке защиты конкретных машин. Сравнение с результатами теоретических исследований	226
5.2. Тяговые испытания машин	229
5.2.1. Цель, объекты и методика испытаний	229
5.2.2. Результаты эксперимента	231
5.3. Экспериментальные исследования производительности различных машин	232
5.3.1. Цель, объекты и методика испытаний	232
5.3.2. Эксперименты и основные результаты на технике с механической и гидромеханической трансмиссиями	236
5.3.3. Экспериментальные исследования и основные результаты на бульдозерах с электромеханической трансмиссией	239
5.4. Экспериментальная проверка прочностных характеристик шасси	246
5.5. Выводы по пятой главе	250
<b>ГЛАВА 6. ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ И КОНСТРУКЦИИ ЗАЩИТНЫХ КАБИН И МАШИН В ЦЕЛОМ</b>	<b>252</b>
6.1. Определение максимально возможного уровня противорадиационной защиты и рекомендации по повышению защиты конкретной техники	253
6.1.1. Мероприятия по базовому шасси, повышающие уровень защиты оператора	255
6.1.2. Мероприятия по защитной кабине, повышающие уровень защиты оператора	256

6.2. Выбор рациональных передаточных чисел трансмиссии при установке противорадиационной защиты у конкретных машин	261
6.3. Оценка защиты машины (в том числе ослабленных зон) методом круговых диаграмм	265
6.4. Выбор рабочего оборудования в зависимости от массы конкретных машин с учетом защиты	267
6.5. Практические рекомендации по доработке конструкции машин с противорадиационной защитой	271
6.5.1. По доработке конструкции шасси машин	272
6.5.2. По конструкции и технологии изготовления защитной кабины	280
6.6. Рекомендации по конструкции радиоуправляемой техники	289
6.7. Примеры расчетов эффективности конкретных гусеничных и колесных машин на радиоактивно зараженной местности	291
6.7.1. Гусеничный бульдозер на базе трактора Т10	292
6.7.2. Грузовой автомобиль на базе Урал-4320	294
6.8. Расчет рациональных параметров конкретных машин (по п. 6.7) для работы на конкретной радиоактивно зараженной местности	297
6.9. Оценка практического применения результатов работы	301
6.10. Выводы по шестой главе	313
<b>ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ</b>	316
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b>	321
<b>Приложение 1. Некоторые образцы техники с противорадиационной защитой, в которой применены результаты диссертации</b>	349

## ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕРМИНЫ И АББРЕВИАТУРЫ

- АЭС – атомная электростанция;
- БА – бульдозерный агрегат;
- БПРЗ – броневая и противорадиационная защита;
- БРА – бульдозерно-рыхлительный агрегат;
- ГИ – гамма-излучение;
- ГМТ – гидромеханическая трансмиссия;
- ДЭТ – дизель-электрический трактор;
- ИМР – инженерная машина разграждения;
- КГМ – колесные и гусеничные машины;
- КЗО – комплект защитной одежды;
- КПП – коробка перемены передач;
- МАГАТЭ – международное агентство по атомной энергии;
- МАДИ – Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет;
- МГТУ – Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана;
- МО – министерство обороны;
- МСТ – механическая ступенчатая трансмиссия;
- МТА – машинно-тракторный агрегат;
- МТУ – моторно-трансмиссионная установка;
- НИИ АТТ – ОАО «Научно-исследовательский институт автотракторной техники» (г. Челябинск), ранее Челябинский филиал НАТИ;
- НИИСтали – научно-исследовательский институт стали, позднее ОАО «НИИСтали» (г. Москва);
- НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;
- НКРЗ – национальная комиссия по радиационной защите;

НРБ – нормы радиационной безопасности;

ОПП – опытно-промышленная партия;

оператор – в большинстве случаев оператор и электронные узлы машины (в том числе у роботизированной техники), нуждающиеся в ПРЗ, уровни защиты которых задаются соответствующими требованиями;

ОСП – основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений;

ПД – поглощенная доза излучения;

ПДД – предельно допустимая доза облучения;

ПРЗ – противорадиационная защита;

ПРМ – противорадиационный материал;

ПРХ – противорадиационные характеристики;

ПС – программное средство;

РАО – радиоактивные отходы;

РЗМ – радиоактивно зараженная местность;

РЭО СВ – руководство по эргономическому обеспечению создания военной техники сухопутных войск;

РФЯЦ ВНИИТФ – Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. академика Е.И. Забабахина (г.Снежинск, Челябинской обл.);

Точка *A* – расчетная точка на уровне головы оператора;

Точка *B* – расчетная точка на уровне низа живота оператора;

ТТЗ – тактико-техническое задание на проектирование машины;

ТТТ – тактико-технические требования;

УралАЗ – Уральский автомобильный завод (г. Миасс, Челябинская обл.);

УРАЛНИИС НАТИ – Уральская научно-исследовательская испытательная станция (г. Чебаркуль, Челябинская обл.);

ФАЭС – Фукусимская АЭС (Япония);

ФВУ – фильтро-вентиляционная установка;



ФГУП УКБТМ – Федеральное государственное унитарное предприятие «Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения», (г. Нижний Тагил, Свердловская обл.);

ЦД, ЦМ – центр давления и центр масс машины;

ЦНИИКА – Центральный научно-исследовательский институт комплексной автоматизации (г. Москва);

ЦНИКИМТ – Центральный научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии (г. Москва);

ЧАЭС – Чернобыльская АЭС;

ЧГАУ – Челябинский государственный агроинженерный университет, в настоящее время Южно-Уральский государственный аграрный университет;

ЧЗК – Челябинский завод им. Коллющенко, в настоящее время ЗАО «Челябинские строительно-дорожные машины»;

ЧТЗ – Челябинский тракторный завод, ОАО «ЧТЗ», в настоящее время ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК»;

ЭГСУ – электрогидравлическая система управления;

ЭМТ – электромеханическая трансмиссия;

ЮУрГУ – ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск.

## ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $a$  – сторона внутреннего объема кабины в форме куба, м;
- $b_w, b_k, b_{po}$  – толщина, соответственно, защитного экрана шасси, стенок-панелей кабины или рабочего оборудования, м (мм, см);
- $B_{po}, H_{po}$  – соответственно, ширина и высота рабочего оборудования, м (мм);
- $B_{\delta}^q$  – дозовый фактор накопления излучения;
- $E_{\gamma}$  – энергия гамма-излучения радиоактивно зараженной местности, МэВ;
- $f$  – коэффициент сопротивления передвижению;
- $G_{kj}, G_w, G_{но}, G_{rp}$  – вес, соответственно, кабины, шасси, навесного оборудования и груза, Н (кг);
- $i_w, i_{opt}$  – передаточное число базового шасси и оптимальное передаточное число машины с ПРЗ, соответствующее оптимальному удельному тяговому усилию;
- $K_w, K_k, K_{po}, K_M$  – кратность ослабления дозы облучения оператора, соответственно, узлами шасси, кабиной, рабочим оборудованием, машиной в целом, крат.
- $k_v$  – коэффициент использования внутреннего объема кабины с учетом зазоров между экипажем и оборудованием;
- $L, B$  – база и колея машины, м (мм);
- $L_{po}$  – удаление рабочего оборудования (отвала) от оператора, м (мм);
- $L_{px}, L_{xx}, L_{пп}$  – длина, соответственно, рабочего, холостого хода и транспортного перехода между объектами, м;
- $M_m, M_w, M_k, M_{ПРЗ}$  – масса, соответственно, машины, базового шасси, кабины и противорадиационной защиты оператора, соответственно, кг;
- $N_n, N_3$  – нормальная реакция на ось передних и задних колес, Н;
- $N_e, N_m, N_{кр}$  – эффективная мощность двигателя, моторно-трансмиссионной установки и тяговая крюковая мощность кВт (л.с.);

$n_o$  – количество работающих на машине операторов, чел.;  
 $P_o, P_1, P_2$  – мощность дозы излучения радиоактивно зараженной местности: от кругового поля, из прямоугольной зоны защитного экрана без ослабления и зоны перекрытой защитным экраном с учетом ослабления дозы экраном, мЗв/ч;  
 $P_\gamma$  – гамма-постоянная радиоактивного изотопа; аГр·м<sup>2</sup>/(с·Бк) (Р·см<sup>2</sup>/(ч·мКи));  
 $q$  – среднее удельное давление на грунт, МПа;  
 $r$  – радиус зоны заражения; м;  
 $R_x, R_z$  – вертикальная и горизонтальная внешняя сила, действующая на рабочее оборудование, Н;  
 $S_{cm}$  – площадь поверхности стенок кабины, м<sup>2</sup>;  
 $t$  – время работы одного оператора, ч;  
 $T, T_{вв}$  – общее время работы агрегата на радиоактивно зараженной местности и время ввода - вывода машины из зоны работ, ч;  
 $t_{ост}, t_{PB}$  – время остановок и одного разворота бульдозера, ч (с);  
 $V_{вн}, V_o, V_{об}$  – внутренний объем кабины, объем занимаемый оператором и рабочим оборудованием, м<sup>3</sup>;  
 $V_{от}$  – емкость отвала, м<sup>3</sup>;  
 $X_q, \Delta X_q$  – продольная координата центра давления машины и ее смещение за счет установки ПРЗ, м (мм);  
 $X_R$  – продольная координата точки приложения внешней нагрузки на рабочем оборудовании, м (мм);  
 $X_w, X_k, X_{rp}$  – продольная координата центра масс шасси, кабины и перевозимого груза, относительно задней оси, м (мм);  
 $z_w, z_k, z_{rp}$  – вертикальная координата центра масс шасси, кабины и перевозимого груза относительно грунта, м (мм);  
 $z_{A(B)}$  – высота расчетной точки  $A$  ( $B$ ) от грунта, м (мм);

$\alpha$  – угол наклона к горизонту поверхности, на которой стоит машина при определении продольной устойчивости, град;

$\beta_{lim}$  – предельный угол поперечной устойчивости, град.;

$\delta$  – коэффициент буксования;

$\phi$  – максимальный угол качания поперечной балки ходовой части от горизонтальной плоскости, град.;

$\rho$  – плотность материала защитного экрана, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi_k, \varphi_{kmax}, \Delta\varphi_k, \varphi_{kont}$  – текущее, максимальное и падение удельного тягового усилия, оптимальное удельное тяговое усилие;

$\eta$  – тяговый КПД;

$\mu$  – линейный коэффициент поглощения гамма - излучения, см<sup>-1</sup>;

$U_{PX}, U_{XX}, U_{TP}$  – скорость рабочего, холостого хода и перемещения между объектами, м/с;

$\tau$  – коэффициент использования рабочего времени смены;

точка *A (B)* – точка головы (низа живота) оператора, для расчета дозы облучения;

$Z, Z_w, Z_s, Z_o$  – соответственно, полные затраты на обеспечения работы машины на РЗМ, затраты на базовое шасси, затраты на конструкцию защитного экрана и затраты на оператора, с учетом затрат на реабилитацию ущерба здоровью от радиации, руб;

$\Pi$  – производительность работы агрегата, м<sup>3</sup>/ч, т/ч;

$\PiД, \PiДД$  – поглощенная и предельно допустимая доза облучения,

$\mathcal{E}, \mathcal{E}_{1-2}$  – эффективность использования техники и относительная эффективность варианта 1 относительно варианта 2;

$R^2$  – коэффициент корреляции Пирсона – коэффициент, выражающий линейную вероятностную или статистическую зависимость взаимосвязи двух параметров, равный отношению их ковариаций (математическое ожидание произведений отклонений) к произведению их стандартных отклонений.

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Актуальность темы исследования.**

Сложившаяся в мире ситуация в области образования и обращения (использование, обезвреживание, хранение и захоронение) с радиоактивными отходами ведет к опасному загрязнению окружающей среды, значительному экономическому ущербу и представляет реальную экологическую проблему.

Борьба с радиоактивным загрязнением местности проводится с широким использованием различных специальных КГМ. Как правило, эти машины создаются на базе серийно выпускаемой техники с дополнительной установкой ПРЗ оператора и нуждающегося в этой защите установленного электронного оборудования, а также с мероприятиями по предотвращению попадания радиоактивной пыли и грязи внутрь машины. *В дальнейшем под понятием «оператор» в большинстве случаев рассматривается оператор и электронные узлы машины (в том числе у роботизированной техники), нуждающиеся в ПРЗ, уровни защиты которых задаются соответствующими требованиями.*

Важность создания эффективной техники для работы на радиоактивно зараженной местности (РЗМ) подтверждают:

- основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности РФ на период до 2025 года (утвержденные приказом Президента РФ № Пр-539 от 01.03.2012);
- федеральный закон № 190-ФЗ от 11.07.2011 «Об обращении с радиоактивными отходами (РАО) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ»;
- перечень Государственных программ РФ (темы 10 и 22), утвержденных распоряжением правительства РФ № 1950-р от 11.11.2010, в том числе «Преодоление последствий радиационных аварий», ряд работ по которым продлен до 2025г [158, 198, 226];

– концепция вывода из эксплуатации ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения на период до 2030г, утвержденная 15.07.2014 государственной корпорацией «Росатом»;

– федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020годы и на период до 2030г» (ФЦП ЯРБ-2).

При работе на зараженных территориях наличие ПРЗ оператора является обязательным условием, так как эта защита снижает его уровень облучения и позволяет увеличить время его работы на РЗМ. Однако ПРЗ также оказывает существенное влияние на эксплуатационные параметры машины и эффективность ее использования в технологическом процессе. В этой связи актуальным представляется определение рационального уровня защиты оператора с одновременной модернизацией базовой машины, позволяющей повысить эффективность ее использования на радиоактивно зараженной местности.

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 на начальном этапе проектирования конкретной информации по влиянию ее основных параметров на защитные от гамма-излучения и технико-экономические характеристики.* Поэтому необходима разработка методологии, конкретных методов и методик рационализации и оптимизации параметров машин для работы на РЗМ, определяющих эффективность, функциональные и экономические характеристики техники с учетом ПРЗ при минимуме исходных данных (без подробной компоновочной схемы машины).

Известные научные работы, методики оценки и рекомендации по применению машин для работы на радиоактивно зараженной местности не отражают в явном виде взаимосвязи между параметрами защиты и технико-экономическими параметрами машины. Возможности использования известных рекомендаций при выборе рациональных параметров и конструкций колесных и гусеничных машин, работающих на РЗМ, ограничены существующими компоновочными схемами и конструктивными параметрами защиты оператора и машины. По существу это методики предназначены для сравнительной оценки существующих, а не вновь проектируемых машин.

*Существующие методики расчета и проектирования машин с защитой от ГИ слабо взаимообусловлены и взаимосвязаны между собой, не объединены в единую систему «РЗМ – машина (противорадиационная защита, производительность и затраты) – человек», что снижает эффективность разработки и применения таких машин на РЗМ.*

Вопросы проектирования специальной техники для работы на РЗМ нуждаются в глубоком анализе, логическом осмыслении, обобщении достигнутых результатов, поиске новых подходов к оценке эффективности технических решений и дальнейшем развитии. Для выбора рациональных компоновочных схем и параметров КГМ на этапе проектирования с учетом особенностей использования силовых установок, базового шасси и рабочего оборудования, типов трансмиссий, ходовых систем, других узлов в конкретных условиях эксплуатации требуется уточнить концепцию и усовершенствовать методологию создания машин, направленную на повышение эффективности их использования при работе на РЗМ.

В этой связи *важное значение для народного хозяйства страны имеет разработка единого подхода к проектированию КГМ для эффективной и безопасной работы на РЗМ путем обоснования*

*необходимых параметров и конструкций машин под условия эксплуатации.*

**Цель исследования** – развитие методологии расчета и проектирования КГМ для работы на РЗМ, выработка рекомендаций по совершенствованию параметров таких машин и их внедрение в практику проектирования.

**Объект исследования** – методы моделирования структурно-функциональных взаимосвязей параметров машины в процессе проектирования инженерных КГМ для работы на РЗМ.

**Предмет исследования** – закономерности влияния ПРЗ на технико-экономические характеристики КГМ различных компоновочных схем, типов трансмиссий, ходовых систем и рабочего оборудования.

**Границы исследований:** в работе в основном рассматривается моноэнергетическое поле ГИ на грунте, считаемое бесконечно тонким диском с равномерным распределением радиоактивного источника – с постоянным значением поверхностной плотности радиоактивности  $\sigma$ . Так как при техногенных авариях обычно именно поле излучения на грунте дает наибольшее ГИ, прописывается в соответствующих ГОСТах и используется для сравнения уровней защиты разных машин. Другое расположение источников излучения также учитывается в расчетах, например, отдельно для стенок кабины. Уровень защиты, как правило, определялся для самых неблагоприятных условий энергетического состава ГИ, что гарантирует запас по уровню защищенности оператора.

**Методологическую и теоретическую основу исследований** составляет системный подход, позволяющий комплексно рассматривать развитие конструкций различных инженерных машин, предназначенных для работы на РЗМ, с обоснованием их рациональных параметров в зависимости от условий эксплуатации (максимально отвечающих задачам работы на конкретной местности, группе местностей).



В теоретических исследованиях использованы методы теоретической механики, математической статистики и анализа, теории вероятности, методы дифференциального и интегрального исчисления, конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния элементов, теория движения КГМ, в том числе автомобиля и трактора.

При экспериментальных исследованиях применены стандартные и оригинальные методики испытаний. Основой эмпирических исследований являются статистические и информационные материалы о радиационных авариях, государственные доклады правительства, Министерства обороны, Министерства чрезвычайных ситуаций, ГОСТы и нормативно-методические документы, техническая документация, отчеты о научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах и др.

#### **Научная новизна:**

1. Сформулирован новый системный подход к расчету и проектированию КГМ для работы на РЗМ, отличающийся рассмотрением ПРЗ как подсистемы машины в системе «радиоактивно зараженная местность – машина – оператор (включая ряд электронных узлов, в том числе у роботизированной техники)», ранее конкретная машина обычно рассматривалась только как база для установки ПРЗ по грузоподъемности.

2. Разработаны методологические основы повышения эффективности работы машины с ПРЗ на РЗМ путем выбора параметров не только необходимой защиты (как было ранее), но и определения отдельными последовательными процедурами взаимосвязанных с защитой параметров машины в целом по критерию «эффект – затраты».

3. Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены новые математические модели защиты оператора узлами шасси, рабочего оборудования и кабины, в зависимости от конструкции КГМ (тип ходовой системы, грузоподъемность, габаритно-массовые параметры, место размещения оператора и рабочего оборудования и т.д.) и характеристик РЗМ (мощность, энергия и расположение источника излучения).

Особенностью моделей является возможность их применения без подробной компоновочной схемы машины.

4. Получены в явном виде новые зависимости влияния массы и места установленной ПРЗ оператора на основные компоновочные, технические, функционально-стоимостные параметры КГМ (рациональное изменение передаточных чисел трансмиссии, выбор типа шасси колесного автомобиля, прочностную надежность элементов шасси, параметры рабочего оборудования и др), определяющие эффективность и производительность машины.

5. Впервые разработаны и практически верифицированы методики моделирования и расчета КГМ с ПРЗ, в том числе в формате комплексных алгоритмов, отличающиеся возможностью на начальном этапе проектирования (при минимуме исходных данных) в зависимости от дифференцированного подхода к задачам проектирования (максимальная эффективность работы, максимальный уровень защиты, другие задачи) определять основные рациональные параметры конкретной машины, работающей на конкретной РЗМ.

#### **Практическая ценность:**

1. Разработанные математические модели, методики и рекомендации позволили проектировать и создавать технику с максимальной эффективностью для работы в условиях ГИ местности, объективно оценивать и выбирать на стадии проектирования основные параметры таких машин. *Использование полученных рекомендаций только по теме «Ларец» позволило увеличить уровень ПРЗ в 1,42 раза (при той же массе защиты)* по сравнению с защитой (по тактико-техническому заданию), определенной по прежним методическим разработкам, и соответственно поднять эффективность работы КГМ на РЗМ.

2. Разработаны новые (в том числе запатентованные) конструкторско-технологические решения, улучшающие технические характеристики КГМ, в том числе по защите оператора, повышающие эффективность

техники, качество и безопасность работ при использовании ПРЗ и машины в целом. Основные разработки защищены 33 патентами РФ на изобретения, промышленные образцы и полезные модели.

3. Сформулированы рекомендации по компоновке машин с ПРЗ, выбору базового шасси и расположению кабины (места оператора) для КГМ, работающих на радиоактивно зараженной местности. Для ряда тракторов и грузовых автомобилей определены параметры ПРЗ узлами шасси и максимально достижимый уровень защиты при работе на конкретной РЗМ.

4. Даны рекомендации по повышению технической производительности КГМ, агрегатов на базе гусеничных тракторов и колесных грузовых автомобилей при установке ПРЗ, в том числе за счет изменения передаточных чисел трансмиссии и тяговых усилий пропорционально росту массы машины, связанному с установкой защиты.

*Реализация этих рекомендаций по изменению параметров КГМ при заданных в диссертации условиях РЗМ привела к увеличению технической производительности рассмотренных машин до 34 %.* При других параметрах РЗМ (например, при увеличении энергии и мощности ГИ) и соответствующих измененных рациональных параметрах машины возможно дальнейшее увеличение производительности КГМ.

5. Разработан метод проверки ПРЗ с использованием однородного изотропного плоского гамма-облучателя, позволивший существенно повысить вероятность обнаружения дефектов в защите.

**На защиту выносятся** (по совокупности научно-обоснованных технических решений) перечисленные выше основные результаты, имеющие научную новизну и практическую ценность.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается:

– базовыми положениями фундаментальных законов физики и теоретической механики;

– адекватностью исходных посылок и уровнем допущений при математическом моделировании эксплуатации машин работающих на радиоактивно зараженной местности;

– хорошей сходимостью и обширной апробацией полученных автором рекомендаций и результатов исследований с результатами других авторов и исследований, проведенных в ходе экспериментов базовых центров РФ по созданию и проверке техники с ПРЗ (ФГУП 15 ЦНИИ МО РФ, НИИСтали, РФЯЦ НИИТФ, ГУП 38НИИИ БТ, ГосНИИ ПТ и др) и в эксплуатации.

### **Апробация и реализация результатов работы.**

Основные положения и результаты исследований докладывались, обсуждались и были одобрены в период 1988...2020 гг. на заседаниях кафедр, отделов, научно – технических советах, научно – технических конференциях: ЮУрГУ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЧТЗ, НИИ АТТ, НИИСтали, ФГУП 15 ЦНИИ МО РФ, ЧГАУ и др.

В полном объеме работа докладывалась, обсуждалась и была одобрена на заседаниях научно-технических советов и подразделений (соответствующих тематике работы): ЧТЗ, НИИСтали, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ФГУП 15 ЦНИИ МО РФ, ФГУП 21 ЦНИИ МО РФ, ЮУрГУ, ЧГАУ, Академии гражданской защиты МЧС РФ (г. Химки, Московская обл.).

Результаты работы были применены при создании специальной техники с 1986 по 2020 гг. (подробнее в табл. 6.10 и Приложении 1), в том числе созданной по государственным и отраслевым программам (темы «Памятка – 1», «Памятка – 2», «Ларец», «Рамка» и др.).

1. Бульдозерных и бульдозерно-рыхлительных агрегатов (БА и БРА) с ПРЗ (и рядом других мероприятий для работы на РЗМ): ДЗ-171.1КЗ (класс базового трактора 10) и ДЗ-132-1КЗ (класс базового трактора 25), на ЧТЗ (по приказу ГК СВ МО СССР №72 от 15.06.90 они приняты на снабжение МО СССР [201]).

2. Ряда тракторов с ПРЗ: Т-130, Т-170 и агрегатов на их базе, опытно-промышленных партий агрегатов на базе трактора ДЭТ-250, на ЧЗК, ЧТЗ.

3. Партий радиоуправляемых тракторов (с защитой блоков управления от радиации) Т-130МС, Т10Г6, ДЭТ-250М2С и агрегатов на их базе Т-130МС (МСАДУ), Т10.32-8/9, БРА ДЭТ-250М2СБ1Р1, на ЧТЗ (по решению № 113-12-90, В/Ч 52684 – трактор Т10.32-8 принят к использованию инженерными войсками МО СССР [211]).

4. Партий тракторов и БРА на их базе для подразделений ГК «Росатом» с ПРЗ и под установку ПРЗ в местах эксплуатации, в том числе по отдельным ТЗ заказчика (1986...2020 гг).

5. Полноразмерных макетов машин с защитой от радиации (для отработки и испытаний вариантов ПРЗ по заказу МО РФ), ПРЗ изделий 781 и 782 (опытные образцы), на ЧТЗ, разработчики ЧТЗ, НИИСтали, испытания РФЯЦ НИИТФ.

6. Автомобилей Урал-4320, Урал-53234 со специальной защитой (опытные образцы), УралАЗ, ЧТЗ.

7. Погрузчика малогабаритного ПМГ12.01 с ПРЗ дистанционного управления (опытный образец), ЧТЗ, ООО «Снег» (2011...2015гг).

8. БРА со спец. защитой Б10М2С, Б12С.5020ЕН (выдан сертификат соответствия № ТС RU С-RU.АД06.В.01121, серия RU № 0505970, серийный выпуск, срок действия сертификата до 01.11.2022г), на ЧТЗ, 2014...2020гг.

9. Погрузчика ПК55С с БПРЗ по техническим требованиям УНИВ ВС РФ (опытный образец, 2018г), на ЧТЗ.

Техника по п. 1...4 принимала участие в различных работах на РЗМ, в том числе при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), по п. 8 изготавливалась по Гособоронзаказу МО РФ в 2017г.

Разработанные в диссертации методы, математические модели, методики расчета и проектирования, рекомендации и технические решения по КГМ с ПРЗ использованы НИИСтали, ФГУП 15 ЦНИИ МО РФ, РФЯЦ

НИИТФ, ГК «Росатом» при проектировании и испытаниях специальных КГМ и введены в практику учебных процессов ФГАОУ ВО «ЮУрГУ» (НИУ) и КГУ (г. Курган).

Результаты работы также использовались на ЧТЗ при создании и модернизации серийной народнохозяйственной техники – тракторов классов 10...25 (типа Т-170, Т10, Т11...Т15, ДЭТ) и агрегатов на их базе, в части выбора ряда параметров трактора и его рабочего оборудования, компоновки, усиления рамы, подвески и ходовой части.

#### **Личный вклад автора.**

Автор сформулировал и предложил комплексное решение развития КГМ для работы на РЗМ на основе новой методологии расчета и проектирования, в которой ПРЗ рассматривается как подсистема машины в целом. Разработал основные модели, методы, установил и описал математически закономерности связей параметров определяющих технические, защитные от ГИ и экономические характеристики машины. Математическая модель работы БРА с ПРЗ (в виде связанной нелинейной системы при многопараметрическом случайном нагружении, раздел 4.5) разработана совместно с И.Я. Березиным и В.К. Халтуриным. Предлагаемая схема определения рационального силового привода грузового автомобиля (раздел 4.7) получена совместно с И.В. Докшиным и А.В. Келлером. Совместно с РФЯЦ ВНИИТФ подобраны параметры метода гаммаграфии с использованием плоского гамма-облучателя при экспериментальной проверке уровня ПРЗ и качества изготовления кабины (раздел 5.1.3).

При непосредственном участии автора (в том числе под его руководством) выполнены, указанные в данной работе, теоретические, программно-алгоритмические, экспериментальные и практические исследования, которые внедрены в практику проектирования специальной техники с ПРЗ и учебных процессов.

### **Публикации.**

По результатам исследований опубликовано 78 работ, в том числе 1 монография, 44 научных статьи (из них 65% единоличных, без соавторов), из них 35 научных статей в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ, 33 патента РФ на изобретения, промышленные образцы и полезные модели.

### **Структура и объем работы.**

Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, списка литературы, приложения. Содержит 350 страниц текста, включая 81 рисунок, 38 таблиц, список литературы из 277 наименований.

**В первой главе** показана актуальность темы научного исследования; рассмотрены особенности различных образцов КГМ для работы на РЗМ (в том числе управляемых оператором и с дистанционным управлением); приводится обзор существующих методов расчета и проектирования машин с ПРЗ; сформулированы цель и задачи исследования.

**Во второй главе** разработан новый комплексный системный подход и основы методологии проектирования КГМ для работы на РЗМ; показаны основные этапы предлагаемой технико-экономической оценки машины с ПРЗ; проведено сравнение основных положений, особенностей и результатов предлагаемой методики с предыдущими; разработан алгоритм расчета рациональных параметров машины по критерию «эффект – затраты».

**Третья глава** посвящена вопросам влияния параметров КГМ (конструкция базового шасси и кабины, положение оператора и рабочего оборудования и др) на ПРЗ; на основе авторской методики определен уровень кратности ослабления облучения узлами шасси, кабины и рабочего оборудования; рассмотрены вопросы проектирования защитной кабины (допустимой массы, толщины стенок, внутреннего объема в зависимости от количества и схемы размещения экипажа).

**В четвертой главе** рассмотрены вопросы общей компоновки КГМ с ПРЗ; оценено влияние ПРЗ на производительность, тяговые и другие параметры машины, а также параметры ее рабочего оборудования; приведены алгоритмы выбора конструктивной схемы и рациональных параметров различных КГМ с ПРЗ; разработана методика оценки эффективности работы КГМ на РЗМ; разработана модель трактора с ПРЗ в составе БРА, позволяющая определять уровни напряженности при работе машины на начальном этапе проектирования.

**Пятая глава** посвящена вопросам экспериментальных исследований; дано сравнение экспериментальных и теоретических результатов; оценка ПРЗ различных КГМ; подтверждена возможность увеличения технической производительности машины при соответствующем изменении ее параметров в зависимости от установленной ПРЗ; получена достаточно высокая сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований.

**В шестой главе** на базе проведенных исследований рассматриваются особенности расчета ряда практических задач на примере конкретных КГМ с ПРЗ в зависимости от основных задач проектирования (максимальная эффективность работы, максимальный уровень защиты, другие задачи); получены расчетные значения рациональных параметров КГМ с ПРЗ (конкретные тракторы и автомобили, в том числе в сравнении с базовой машиной) на различных заданных РЗМ; предлагаются рекомендации и конструкторско-технологические решения по совершенствованию конструкции ПРЗ и машины в целом.



# **ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

## **1.1. ОБЩАЯ ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

В последнее время (с середины 20 века) все большее развитие получают производства связанные с использованием, переработкой и добычей радиоактивных элементов. Ядерная и термоядерная реакции широко используются в промышленности, энергетике, военных и других целях.

Ядерные испытания, аварии на АЭС, применение в производстве, транспортирование и хранение радиоактивных материалов приводят к радиоактивному загрязнению территорий во всем мире, в том числе и РФ [1, 2, 29, 37, 117, 129, 151, 227, 240, 251, 252, 271 и др.]. Некоторые данные по радиоактивному загрязнению приведены в таблицах 1.1, 1.2.

В Российской Федерации функционирует более 1,5 тысяч радиоактивно опасных объектов, большая часть которых представляет не только экономическую, оборонную и социальную значимость для страны, но и потенциальную опасность для здоровья и жизни населения, а также окружающей среды. В зонах возможного воздействия поражающих факторов при радиационных авариях на указанных объектах проживает свыше 90 млн. жителей России [162].

Доля атомной электроэнергетики в общем балансе Российской Федерации составляет 16,7%. Практически все действующие атомные электростанции России расположены в густонаселенной части страны. В потенциально опасных зонах, прилегающих к действующим АЭС, проживает более 4 млн. человек [159]. Последствия радиационных аварий на АЭС, как правило, являются чрезвычайно опасными.

**Таблица 1.1.***Содержание цезия – 137 в почвах России, тыс. Ки (1999г.) [240].*

Источники загрязнения	Европейская часть России, 3,8 млн. км <sup>2</sup>	Азиатская часть России, 13 млн. км <sup>2</sup>
Глобальные выпадения в результате ядерных испытаний	260	627
Чернобыльская атомная станция	520	65
Химический комбинат Маяк (Южный Урал)	–	55
Красноярск – 26	–	3
Сумма	780	750

**Таблица 1.2.***Площади загрязнения цезием - 137 Европейской территории бывшего СССР, тыс. км<sup>2</sup> (1993 г.) [240].*

Регион	Уровень загрязнения, Ки/км <sup>2</sup>						
	0,1-0,2	0,1-0,5	0,5-1	1-5	5-15	15-40	≥40
Европейская часть России	880	370	110	48,8	5,7	2,1	0,3
Украина	140	190	70	37,2	3,2	0,9	0,6
Беларусь	15	67	26	29,9	10,2	4,2	2,2
Молдова	10	23	0,15	0,06	-	-	-
Страны Балтии	80	12	-	-	-	-	-
Всего	1125	662	206	116	19,1	7,2	3,1

*Примечание: общая площадь Европейской части бывшего СССР равна 4,45 млн. км<sup>2</sup>*

К настоящему времени в мире зафиксировано более 150 аварий на АЭС с утечкой радиоактивности [159].

Так, например, в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции около 5% радиоактивных продуктов, накопившихся за 3 года работы в реакторе, вышли за пределы промышленной площадки станции. Летучие изотопы цезия (134 и 137) распространились на огромные расстояния (значительное количество по всей Европе) и были обнаружены в большинстве стран и океанах Северного полушария. Чернобыльская авария привела к радиоактивному загрязнению территорий 17 стран Европы общей площадью 207,5 тыс. км<sup>2</sup>, с площадью загрязнения цезием выше 1 Ки/км<sup>2</sup> [37, 240].

Если выпадения по всей Европе принять за 100%, то из них на территорию России пришлось 30%, Белоруссии – 23%, Украины – 19%, Финляндии – 5%, Швеции – 4,5%, Норвегии – 3,1%. Плутоний – 239 как тугоплавкий элемент не распространился в значительных количествах на большие расстояния, его выпадения практически ограничились 30-ти километровой зоной. Однако эта зона площадью около 1 100 км<sup>2</sup> (где и стронция – 90 в большинстве случаев выпало более 10 Ки/км<sup>2</sup>) стала надолго непригодной для проживания человека и хозяйствования, так как период полураспада плутония – 239 составляет 24,4 тыс. лет. Общая площадь радиоактивно загрязненных территорий только в России с плотностью загрязнения выше 1 Ки /км<sup>2</sup> по цезию – 137 достигла почти 60 тыс. км<sup>2</sup>. На загрязненных территориях оказалось около 8 тыс. населенных пунктов, где проживало около 3 млн. человек [37, 240].

На реабилитацию аварии на Чернобыльской атомной станции в короткие сроки были направлены огромные ресурсы. К решению проблем Чернобыля были привлечены ведущие ученые и специалисты. Только за период с 1986 по 1991 годы из бюджета СССР на локализацию аварии и ликвидацию ее последствий было израсходовано свыше 30 млрд. долларов [37, 240].

Экологическая реабилитация этих территорий будет проводиться еще долгое время.

В настоящее время в мире насчитывается около 460 атомных электростанций. Количество их постоянно растет, увеличивается мощность, вводятся новые энергоблоки, соответственно, теоретически возрастает и вероятность нарушения их работы, в том числе и с выбросом радиоактивных веществ. По данным МАГАТЭ (международного агентства по атомной энергии) на всех АЭС происходит до 10 таких аварий различной тяжести в год [2].

Кроме Чернобыльской атомной электростанции наиболее серьезные аварии, связанные со значительными выбросами радионуклидов во внешнюю среду, эвакуацией населения и отчуждением территорий, произошли на:

- химкомбинате «Маяк» в Челябинской области (Россия),
- реакторе в Уиндскейл (Великобритания),
- атомной электростанции «Тримайл Айленд» (США),
- атомной электростанции «Фукусима» (Япония).

В России, как и во всем мире, одной из главных экологических проблем является утилизация РАО, а также хранение и переработка отработанного ядерного топлива. За 50 лет использования атомной энергии не выработано безопасной системы захоронения и обезвреживания радиоактивных отходов [159]. Ежегодно в европейских хранилищах размещается около 45 тыс. м<sup>3</sup> радиоактивных отходов, в США столько же отходов принимает только один полигон в Неваде. Продолжается переработка топлива энергетических и других атомных реакторов и захоронение РАО в Российской Федерации. Всего на радиохимических предприятиях России накоплено вредных РАО общей активностью от 2 млрд. Ки до 4 млрд. Ки (1467 пунктов хранения) и их количество и общая радиоактивность продолжает расти [87, 233].

В заключение можно отметить, что в настоящее время Россия заключила около 100 международных договоров (в том числе с США и Японией) в области обеспечения радиационной безопасности [162]. Эти договоры регулируют международные отношения, связанные с:

- мирным использованием атомной энергии;
- обменом информацией о ядерных установках;
- сотрудничеством в сооружении и безопасной эксплуатации атомных электростанций [153, 158, 269 и др];
- использованием в мирных целях ядерных материалов, высвобождаемых в результате уничтожения ядерного оружия;
- транспортировкой и хранением ядерного топлива и отходов;
- обращением с отработавшим ядерным топливом и с безопасностью обращения с радиоактивными отходами;
- подготовкой специалистов по радиозэкологии, радиационной безопасности, радиобиологии и смежным наукам.

Радиационное заражение местности так же может возникать в результате военного применения ядерных боеприпасов, поражающее действие которых определяется не только гамма-излучением, но и нейтронным излучением. Процесс формирования такого поля излучения достаточно полно рассмотрен в литературе [36, 41, 58, 59, 115, 131 и др.].

Работа на РЗМ, ликвидация последствий разного рода аварий, связанных с утечкой радиоактивных веществ, невозможна без использования специальной техники, оснащенной ПРЗ оператора.

## **1.1. СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА ДЛЯ РАБОТЫ НА РАДИОАКТИВНО ЗАРАЖЕННОЙ МЕСТНОСТИ**

Для проведения больших по объему и трудоемких работ, в том числе по дезактивации РЗМ, необходима различная специальная техника (грузовые автомобили и самосвалы, бульдозеры, погрузчики, краны, экскаваторы и др.) с защитой от ионизирующих излучений.

*Как правило, эти машины создаются на базе существующей серийной техники с доработкой или изготовлением новой кабины с установкой ПРЗ оператора и, при необходимости, ряда электронного оборудования, а так же проведением мероприятий по предотвращению попадания радиоактивной пыли и грязи внутрь машины.*

Эти машины проектируются и дорабатываются в соответствии с существующими ГОСТ на КГМ [50...59, 219 и др.].

При установке ПРЗ на КГМ необходима, в том числе доработка (как минимум проверка соответствия параметров стандартов, предъявляемых к КГМ) конструкции получаемой машины.

Как правило, для таких видов машин разрабатывается специальная кабина с ПРЗ.

Конструкция кабины и размеры рабочего места должны обеспечивать нормальную работу оператора в соответствии с действующими санитарными нормами и техническими требованиями. Основные требования к конструкции, размерам кабины с ПРЗ, ее оборудованию, к минимальному рабочему пространству и рабочему месту оператора оговорены рядом ГОСТ на соответствующие КГМ, например ГОСТ 7734 (для кабин грузовых автомобилей) [50], ГОСТ 12.2.120 (для кабин тракторов, МТА и ряда другой техники) [57] и т.д. Все это в полной мере относится и к другим видам машин, в том числе военным и специальным КГМ [219 и др].

Помимо вышеуказанных обычных общемашинных требований [8...11, 16, 23, 24...26, 32...35, 38, 39, 44, 61, 62, 91, 104 и др] к конструкции КГМ для работы на РЗМ предъявляются и специальные требования [18, 58, 59, 87, 115, 149, 212, 237, 261...264 и др], в первую очередь связанные с необходимой ПРЗ (по уровню защиты (по ПДД), по возможности – отсутствию мест для накопления радиоактивной пыли и грязи на машине, наличию подпора воздуха в кабине и т.д.).

Основные преимущества специальных КГМ на базе народнохозяйственной техники, по сравнению с их аналогами на базе военных и специальных машин, заключаются, в их:

- низкой стоимости (в том числе в эксплуатации),
- высоком ресурсе,
- надежности, простоте и ремонтпригодности.

Такие машины могут широко применяться:

- на дезактивации загрязненных территорий при ликвидации последствий радиационных аварий;

- для работ по транспортировке, консервации и захоронению радиоактивных отходов на предприятиях атомной промышленности, а также горных пород и «хранилищ» на горнодобывающих предприятиях, занятых разработкой урановых месторождений и переработкой урановых руд;

- в работах связанных с обращением, хранением и переработкой ядерного топлива (в том числе отработавшего), другие использования, связанные с источниками радиации.

Основные виды работ, проводимые техникой с ПРЗ на зараженной местности, в том числе при ликвидации последствий аварий показаны на рис. 1.1...1.4:

1. Разведка радиационной обстановки на местности, в том числе в зданиях, корпусах реакторов и других сооружениях, включая труднодоступные места, подготовка проездов к местам работы на РЗМ.

2. Снижение выбросов вредных веществ, например, ветрового (авария на ЧАЭС) и водяного (авария на ФАЭС) из реакторов, мест хранения и использования путем создания специальных защитных стен, оболочек–саркофагов, обваловок и т.д.

3. Разборка и уборка разрушенных конструкций, подготовка площадок под складирование, сбор и захоронение радиоактивных обломков, мусора, грунта и т.д.






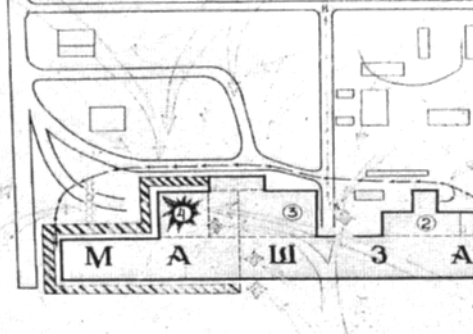





<p><b>СБОР И ЗАХОРОНЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ОСКОЛКОВ И ГРУНТА</b> Собрано и захоронено 2800 контейнеров с осколками и грунтом (уровни радиации - до 500 Р/ч)</p>  <p>Палта машин ИМР-2Е у 4<sup>го</sup> блока Потрезка грунта в контейнер</p>	<p><b>РАЗБОРКА ЗАВАЛОВ</b> Разобрано 18 завалов (уровни радиации - до 200 Р/ч). Вырезано из завалов металлолома - 900 тонн, строительных конструкций - 2500 м<sup>3</sup>.</p>  <p>У граница жидких отходов На подступак к 4<sup>му</sup> блоку</p>	<p><b>ДЕЗАКТИВАЦИЯ ТЕРРИТОРИИ СТАНЦИИ И УКЛАДКА ПЛИТ</b> Деактивировано территории - 70 тыс м<sup>2</sup> (уровни радиации - до 2000 Р/ч). Уложено плит 230 тыс м<sup>2</sup>.</p>  <p>Снятие слоя грунта отвалом ИМР-2Е Укладка плит краном</p>
<p><b>ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДХОДОВ К СТЕНАМ 4<sup>го</sup> ЭНЕРГБЛОКА</b> Оборудовано проходов - 1200 п.м. (уровни радиации - до 200 Р/ч)</p>  <p>Расчистка подхода ИМР-2Е</p> <p><b>ОБОРУДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОД КРАНЫ „ДЕМАГ“ И „ЛИБХЕР“</b> Оборудовано путей 2000 м. (уровни радиации - до 20 Р/ч)</p>  <p>Оборудование пути ИМР-2Д2</p>		<p><b>ЭВАКУАЦИЯ ТЕХНИКИ</b> Эвакуировано 50 единиц техники (уровни радиации - до 100 Р/ч)</p>  <p>Кран „Либхер“</p> <p><b>ЭВАКУАЦИЯ ВЫСОКОАКТИВНЫХ ПОГЛОТИТЕЛЕЙ 1<sup>го</sup> И 2<sup>го</sup> РЕАКТОРОВ</b> Эвакуировано 370 шт. поглотителей с уровнями радиации до 50 тыс. Р/ч</p>  <p>„Клин-1“ - буксировщик</p>
<p><b>ЭВАКУАЦИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ С ВОДОРОДОМ</b> Эвакуировано резервуаров - 6. (уровни радиации - до 600 Р/ч)</p>  <p>Резервуары у 4<sup>го</sup> блока Резервуары, эвакуированные ИМР-2Е</p>	<p><b>ПРОВЕДЕНИЕ ПОДРЫВНЫХ РАБОТ</b> Осуществлено взрывов - 385, разрушено строительных конструкций (м-валов) - 500 м<sup>3</sup>, пробито отверстия в ограждающих и барьере реактора - 17 и др. (уровни радиации - до 200 Р/ч).</p>  <p>Пробитое отверстие в стене помещения Перебитая взрывом технологическая труба машзала</p>	<p><b>ПЕРЕБРОСКА ТРОСА ЧЕРЕЗ РЕАКТОР</b> (уровни радиации - до 100 Р/ч)</p>  <p>Тросомёт (изготовлен всислами) Схема переброски</p>

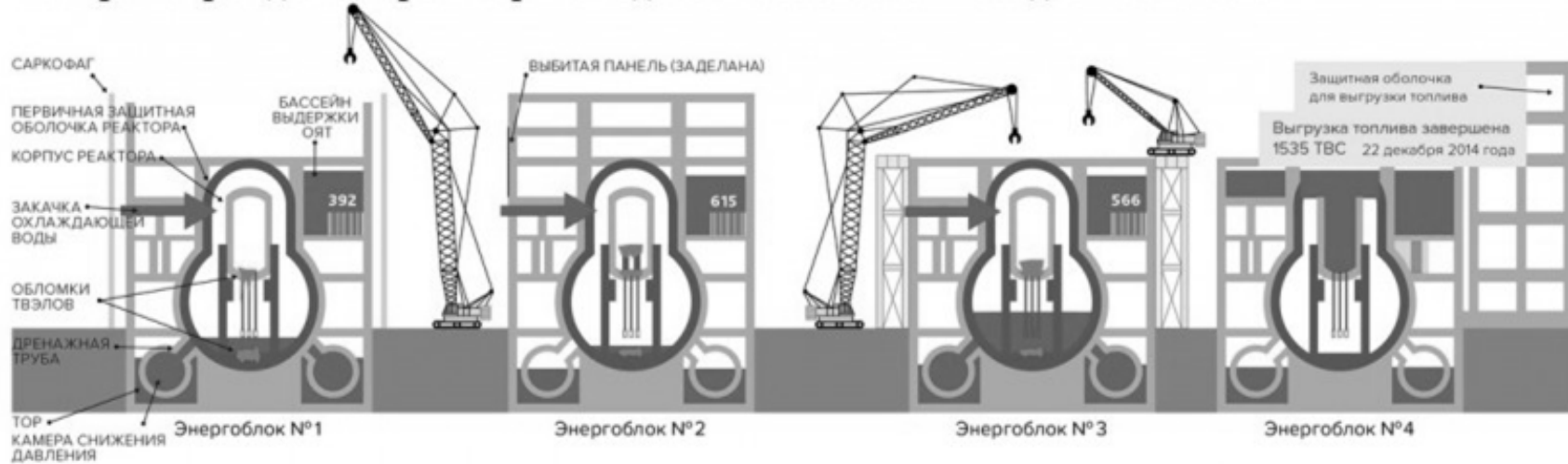
Рис. 1.1. Основные виды работ на первом этапе ликвидации аварии на Чернобыльской атомной станции





Рис. 1.2. Основная техника, которая использовалась на первом этапе ликвидации аварии на Чернобыльской атомной станции

## Четыре поврежденных реактора находятся в безопасном холодном остане



### План выгрузки ОЯТ (энергоблоки № 1, 2 и 3)



### Основные цели и задачи

(сформулированы в декабре 2011 года, пересмотрены в июне 2013 года и в июне 2015 года)



Рис. 1.3. Выполненные и планируемые работы по ликвидации последствий аварии на Фукусимской атомной станции (планируемый срок фазы 3, в перспективе – 30...40 лет), из материалов ТЕРСО (Япония), 2016г



*Рис. 1.4. Самосвал КрАЗ с ПРЗ на обваловке водоема (химический комбинат Маяк, Челябинская обл.)*

4. Очистка наружного слоя грунта, поверхности зданий и сооружений от радиоактивной пыли и грязи. Этот этап дезактивации радиоактивно зараженных территорий обычно включает в себя: удаление и захоронение верхних наиболее загрязненных участков грунта, засыпку чистым грунтом, перекопку земель. Так, например, дезактивацию сельскохозяйственных территорий после удаления наиболее загрязненной части грунта производили в основном путем обычной, а затем глубокой вспашки с захоронением верхнего загрязненного слоя грунта на глубину более 50 см. Перепахивание земель позволяет до 10 раз снизить дозу внешнего гамма-излучения [152, 214].

5. Вывоз радиоактивных отходов в специальные места хранения на закрытых площадках, ямах, в контейнерах.

### **1.2.1. Машины с защитой оператора от радиации**

Наиболее часто на зараженной местности используются машины, управляемые оператором. Так, например, только в начальный период ликвидации последствий аварии на ЧАЭС было привлечено более 600

единиц военной техники и большое количество народнохозяйственной со специальной защитой оператора от радиоактивного излучения [133, 149].

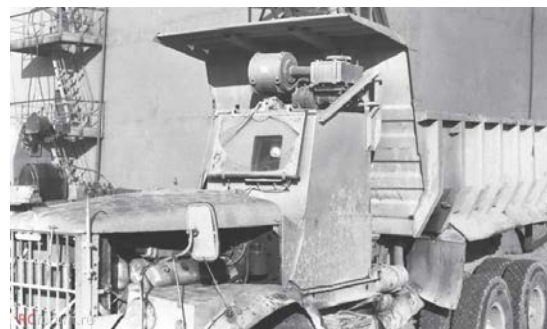
На рис. 1.5 показаны КГМ с дополнительной защитой оператора, используемые на РЗМ при ликвидации последствий различных аварий.

Противорадиационная защита оператора и электронного оборудования колесных и гусеничных машин на зараженной местности в общем виде обеспечивается:

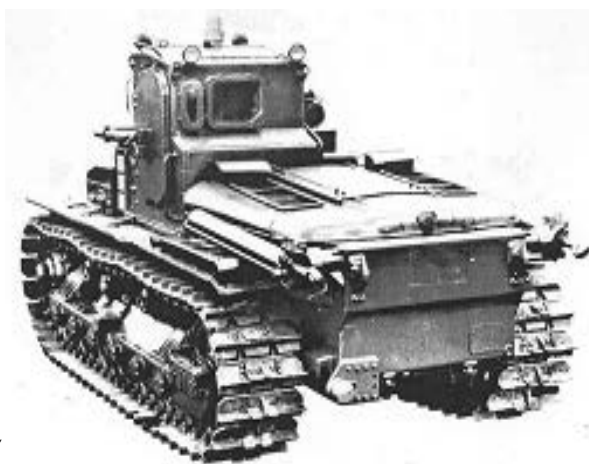
- металлоемкими узлами базового шасси машины и ее рабочим оборудованием;
- специальной конструкцией кабины и дополнительными экранами вокруг обитаемого объема;
- установкой дополнительной защиты от ионизирующих излучений в виде специальных щитков, экранов, фартуков на рабочем месте и защитной одеждой оператора;
- правильной компоновкой машины, учитывающей размещение ПРЗ;
- очисткой воздуха поступающего в КГМ [87, 258, 259], в том числе в подкапотное пространство, специальными изделиями, фильтрами, сетками и т.д.;
- применением фильтра-вентилятора, создающего во внутреннем объеме кабины повышенное давление (воздушный подпор), препятствующее попаданию радиоактивной пыли в кабину через щели, зазоры, негерметичные уплотнения и т.п.

Основная цель ПРЗ состоит в снижении дозы облучения оператора до уровня предельно допустимых доз облучения, задаваемых специальными нормами и стандартами [154...157, 197, 274...277].

Поскольку работоспособность оператора (по ПДД) часто ограничивает время работы техники в условиях радиоактивного излучения, и соответственно производительность КГМ, стали активно предприниматься попытки по использованию на РЗМ роботизированных комплексов.



*а*



*б*



*в*



*г*

*Рис 1.5. Некоторые машины с ПРЗ оператора на базе народнохозяйственной техники:*

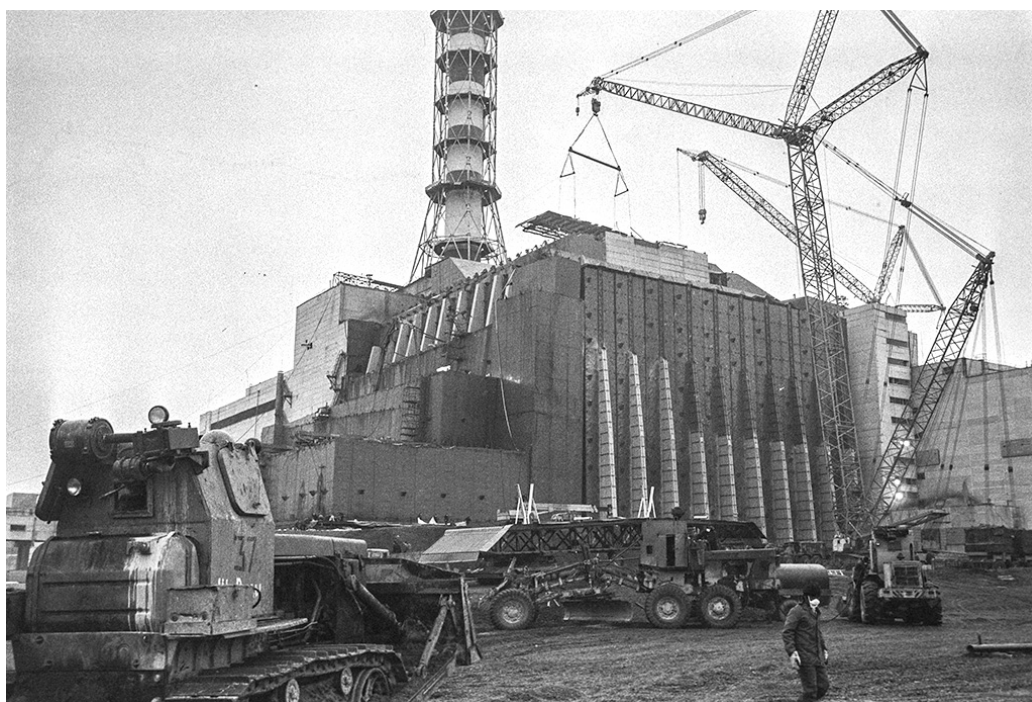
*а – самосвалы КраЗ-256Б1-030;*

*б - бульдозер ДЗ-132-1КЗ со снятым рабочим оборудованием – отвалом;*

*в – экскаватор ЭОВ-4422-КЗ;*

*г – тяжелый кран Terex-Deag*

При ликвидации последствий ЧАЭС наиболее широко использовались машины на базе серийной народнохозяйственной техники с дополнительной установкой ПРЗ (рис. 1.6).



*Рис. 1.6. Начальная и заключительная стадия работ с использованием машин с ПРЗ оператора по установке саркофага над четвертым блоком Чернобыльской атомной электростанции (на ближнем плане бульдозер на базе трактора Т-130 (ЧТЗ), дальше автомобили КраЗ, грейдеры, погрузчики и другая колесная техника)*

В силу нехватки специализированной техники серийного производства, порой прямо на месте аварии «кустарным способом» дорабатывались имеющиеся базовые шасси путем установки на них дополнительной защиты оператора (рис. 1.7). Эта практика, к сожалению, продолжается и *в настоящее время, когда ПРЗ на КГМ для работы на РЗМ часто устанавливают в местах эксплуатации* (только за последние три года на ЧТЗ был ряд заказов на БРА с ПРЗ от подразделений ГК «Росатом» с поставкой техники под установку ПРЗ у заказчика).



*Рис. 1.7. Варианты бульдозеров с ПРЗ оператора на базе техники ЧТЗ, изготовленные серийно (ближний) и «кустарным способом» (дальний).*

Отсутствие необходимых методов и практики проектирования подобных машин приводило к серьезным ошибкам в их конструкции. Кратко рассмотрим лишь некоторые из них.

Машина в заводском исполнении (ближний бульдозер на рис. 1.7) выполнена с учетом ряда рекомендаций приведенных в данной диссертации. Применена цельная кабина уменьшенного объема с ограниченным обзором, но с высоким уровнем и качеством защиты: стенки кабины внутри залиты свинцом, обеспечена защита стыков стенок, окна выполнены из специального свинцовистого стекла типа ТФ-5.

Крыша кабины имеет меньшую толщину, воздухозаборник двигателя и ФВУ максимально удалены от оператора, что значительно уменьшает излучение от накопившейся в них радиоактивной пыли. Конструкция базового шасси доработана в части: изменения передаточного отношения трансмиссии для реализации увеличенной массы (из-за установки ПРЗ) в тягу; усилена несущая и ходовая часть, проведен ряд других изменений конструкции. Увеличен объем отвала, реализующий увеличение тяги в увеличение объема перемещаемого отвалом грунта.

Бульдозер в «самодельном исполнении» (дальний на рис. 1.7) представляет собой серийное шасси с «кустарной» установкой ПРЗ, которое выполнено путем приварки (либо болтового крепления) к кабине дополнительных защитных панелей. Такая конструкция кабины имеет зазоры в местах стыков (соединения) панелей, через которые происходит «прострел» излучения. Теплоизоляция внутри кабины является дополнительным источником накопления радиоактивной пыли. Кроме того, увеличенные окна обычно увеличивают ослабленные зоны (по уровню защиты оператора от ГИ), а расположение ФВУ над головой оператора при заполнении фильтра радиоактивной пылью представляет собой дополнительный источник вторичного излучения вблизи точки «А».

Аналогичная ситуация по конструкции ПРЗ и машины в целом и с грузовыми самосвалами (в том числе, применявшимся при ликвидации аварии на ЧАЭС). Противорадиационная защита оператора на них осуществлялась путем крепления при помощи резьбовых соединений на кабине свинцовых листов (рис. 1.8, 1.9). Такая конструкция защиты, кроме «прострела» радиоактивного излучения в районе соединения листов, также способствовала попаданию радиоактивной пыли под свинцовые листы. Для разгрузки крепления тяжелой кабины установлены специальные растяжки, связывающие кабину с рамой машины. На некоторых машинах (рис. 1.9, вторая машина справа) отсутствует ФВУ, что может привести при работе на РЗМ к попаданию радиоактивной пыли в кабину.





*Рис. 1.8. Установка свинцовых листов на кабине грузового автомобиля*



*Рис. 1.9. Грузовые самосвалы с ПРЗ оператора, которые использовались при ликвидации последствий Чернобыльской аварии*

При ликвидации последствий радиационной аварии на ЧАЭС некоторые специализированные машины создавались на базе военной техники (рис. 1.10, 1.11, табл. 1.3). Это, в основном, объясняется ее повышенной грузоподъемностью (можно установить ПРЗ большей массы) и подвижностью, что очень важно, так как внутри РЗМ машины передвигаются своим ходом. Различие в скоростях существенно, для примера, скорость промышленного гусеничного трактора с полужесткой подвеской составляет до 12 км/ч, у танка – до 70 км/ч.

Несмотря на высокую стоимость военных машин, в случае высоких уровней излучения и больших транспортных переходов внутри зоны излучения, в ряде случаев только машины на базе военной техники способны выполнить поставленную задачу. Даже невысокий ресурс военных машин не имеет существенной роли, так как ресурс машины работающей на радиоактивно зараженной местности часто определяется ее накопленной радиацией. После ряда работ на РЗМ техника, не выработав свой ресурс, сама становится источником излучения и ее необходимо утилизировать.

По данным таблицы 1.3 видно, что масса для ПРЗ у КГМ, работавших на ЧАЭС, часто определялась из условия обеспечения максимальной ПРЗ оператора. И если для военной техники добавочная масса ПРЗ относительно не велика, то для гражданской она может достигать до половины веса всей машины (у бульдозера Т-130), что приводит к резкому снижению ее работоспособности и падению производительности.

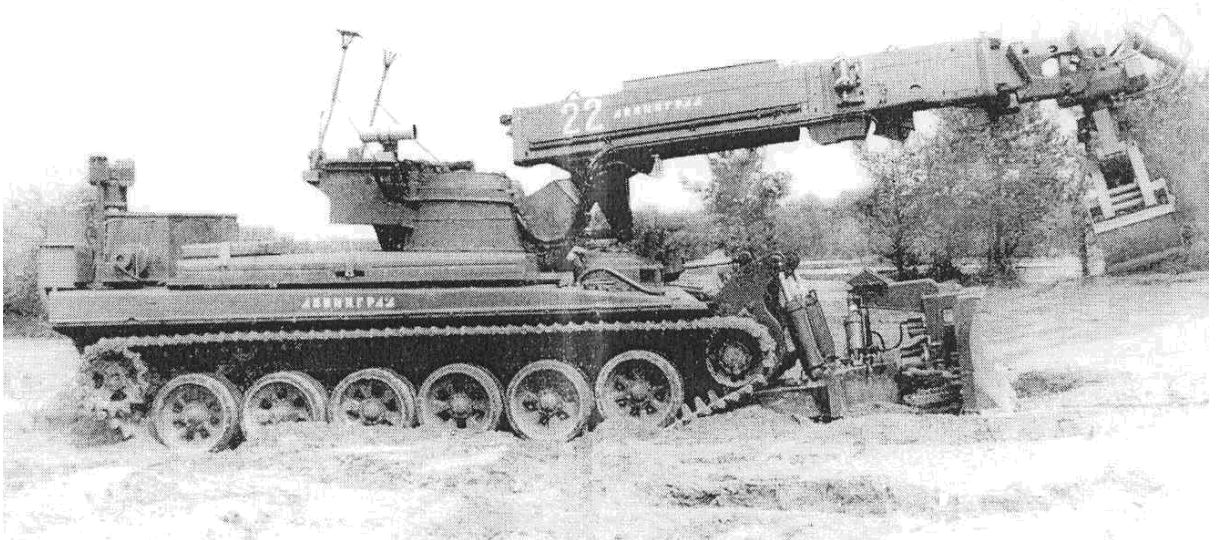
### **1.2.2. Особенности использования робототехнических средств, с учетом их применения при ликвидации аварий на ЧАЭС и ФАЭС.**

Как правило, в зонах работ с высокими уровнями излучения, где не возможна работа техники с непосредственным управлением оператором, использовались различные робототехнические средства (рис.1.10...1.12).

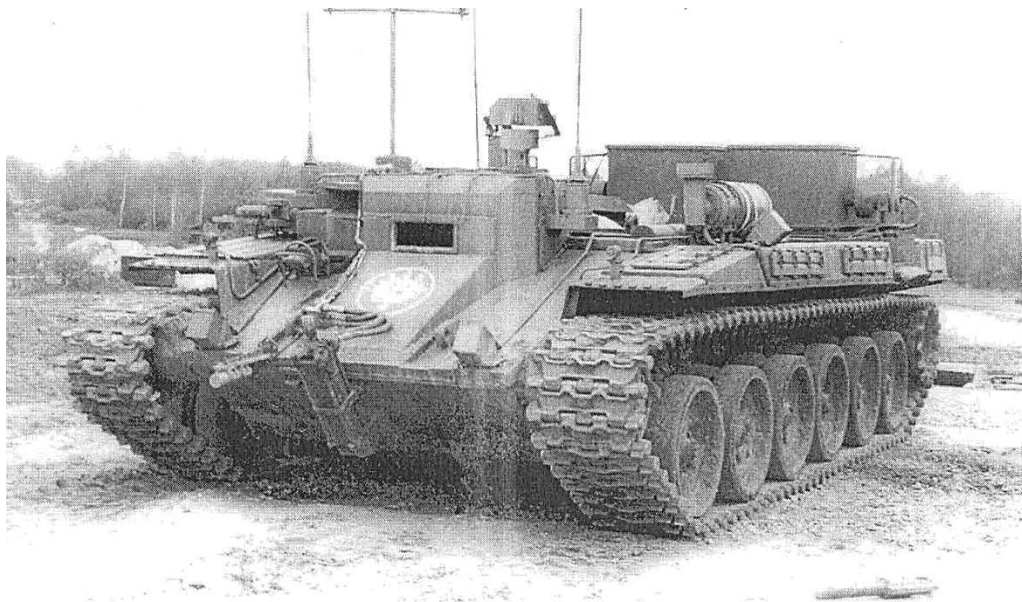
**Таблица 1.3.**

*Кратность ослабления (K) дозы излучения оператора некоторых колесных и гусеничных машин, применявшихся для ликвидации аварии на Чернобыльской атомной станции [36, 133, 149]*

Объект с ПРЗ	K, крат			Защита с верхней полусферы, крат		Дополнительная масса ПРЗ, тонн
	Серийная машина	ТТЗ	Достигнутый уровень	Min в ослаб. зонах	Интегральное значение	
ИМР- 2Р1	80	10000	10000	2000	5000	20
ИМР - 2Р2	80	5000	10000	3000	8000	15
ИМР - 2	80	200	180	10	10	4
БРЭМ -1	80	100	800	70	150	6
БТС - 4А	-	50	120	25	80	5
БТР - 80	4	20	30	6	н. д.	5
БРДМ-2РР	3 - 4	20–50	25	7	н. д.	3
Трубоукладчик Т-3560М	–	5000	5000	200	1000	10
Бульдозер Т-130	–	1000	2500	н. д.	н. д.	10



*Рис. 1.10. Роботизированная управляемая по радио инженерная машина комплекса «Клин»*



*Рис. 1.11. Машина управления роботизированным комплекс «Клин»*



*Рис. 1.12. Тяжелый мобильный робототехнический погрузчик на базе серийного гусеничного трактора «Комацу» (Япония).*

К сожалению, на сегодняшний день для управления роботом необходима машина управления (рис. 1.11) с оператором, находящимся довольно близко от робота. При этом такой оператор сам нуждается в защите от ионизирующих излучений.

При ликвидации последствий аварии на ЧАЭС применялись следующие роботизированные комплексы:

1. Транспортный радиоуправляемый робот СТР-1 и управляемый по кабелю СТР-2 (разработчик Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного машиностроения г. Ленинград).

2. Бульдозерные агрегаты Т-130МС с системой автоматического дистанционного управления, Т10.32-8/9 и ДЭТ-250М2СБ1Р1 с управлением из специальной машины, оснащенной ПРЗ (головные разработчики ЧТЗ и ЧЗК, оба г. Челябинск) и др.

3. Радиоуправляемый комплекс «Клин» (рис. 1.10) с управлением из специальной машины (рис. 1.11) с ПРЗ (разработчик Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного машиностроения г. Санкт-Петербург).

4. Роботы разведчики РР-1, РР-4, РР-Г1, РР-Г2 и тяжелые гусеничные роботы ТР-Г1, ТР-Г2, управляемые по кабелю (разработчик Центральный научно-исследовательский институт комплексной автоматизации г. Москва).

5. Робот-манипулятор М-133 с грейдером (разработчик Центральный научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии г. Москва).

6. Мобильные роботы МОБОТ-4-ХВ-1 и МОБОТ-4-ХВ-2, управляемые по кабелю (разработчик МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва).

Использовались и иностранные радиоуправляемые машины:

– манипуляторы MF-2, бульдозеры PR-751, экскаваторы, погрузчики (Германия);

– погрузчики D-75S и бульдозеры D-155 (рис. 1.12, Япония).

В результате работы роботизированных комплексов при ликвидации последствий аварии на ЧАЭС было обнаружено, что *в случае дистанционного управления роботов защита от ионизирующих излучений часто нужна не только электронным блокам управления, но и радиосигналу*. Чем выше уровень излучения, тем большие помехи создаются управляющему сигналу, тем ближе к робототехническому средству должен находиться управляющий им оператор. При превышении определенного уровня помех робот теряет управление.

Что касается инженерных машин на базе тракторной техники (БА и БРА), то первые в СССР радиоуправляемые бульдозеры были изготовлены в 1984 г. на ЧТЗ на базе трактора Т-130 с механической трансмиссией. Эти агрегаты принимали участие при ликвидации последствий аварии на ЧАЭС в зонах высокой радиоактивности (свыше 1000 рентген/час). В июне 1986 г. там же начали свою работу шесть агрегатов на базе трактора ДЭТ-250 с радиоуправлением. Эта техника показала высокие функциональные возможности, при этом отмечалось [85, 211]:

1. Агрегат на базе трактора класса 10 является наиболее эффективным для работ в зоне сильного разрушения. Он имеет достаточную мощность и тяговое усилие при производстве тяжелых землеройных работ и приемлемые размеры при маневрировании в возможных стесненных условиях.

2. Механическая трансмиссия на радиоуправляемых машинах Т-10 оказалась нецелесообразной, так как при перегрузках двигатель начинал глохнуть при включенной передаче, после чего повторный запуск по радиоканалу в зоне заражения был невозможен и агрегат приходилось эвакуировать с места работ.

3. Электромеханическая бесступенчатая трансмиссия на базе трактора ДЭТ-250 наиболее полно отвечает требованиям дистанционного управления и обеспечивает возможность его простого и надежного изготовления.

**4. Выявилась необходимость усиления противорадиационной защиты части аппаратуры управления и снижения радиопомех от излучения РЗМ для управляющего машиной радиосигнала.**

По результатам эксплуатации первых тракторов с радиоуправлением в экстремальных условиях, в том числе высокой радиоактивности, решением Государственной комиссии Совета Министров СССР был создан радиоуправляемый бульдозер «Памятка-2» на базе трактора Т10 с гидромеханической трансмиссией. Были разработаны и изготовлены 6 опытных образцов (3 для заводских испытаний и 3 для испытаний заказчика). По результатам государственных испытаний агрегаты были приняты на снабжение армии и народного хозяйства [211, 213].

Технические параметры радиоуправляемых агрегатов ЧТЗ на базе гусеничного промышленного трактора Т10 в сравнении с известным фронтальным погрузчиком Д75 RS-2 (Комацу, Япония) [203, 204, 213] приведены в таблице 1.4 (более полно эти машины рассмотрены в [85, 87]).

При ликвидации последствий аварии на Фукусимской атомной электростанции машины - роботы были значительно разнообразнее, чем в Чернобыле (некоторые из них приведены на рис. 1.13), часть из них создавалась специально для работы на РЗМ (для работы в зонах с очень высоким уровнем излучений – 300 Зв/ч и выше). Для разведки использовались серийные роботы Packbot, iRobot с дозиметрами и другими датчиками, позднее применялись роботы Quince, Hibiscus, Sakura и т.д. В разборе завалов участвовали: тяжелые роботы BROKK (Holmhed Systems AG), ASTACO-SoRa (Hitachi), манипуляторы Walischmiller и др. Часто применялись кабельные телеуправляемые машины с защитой блоков управления [21, 249, 265, 272, 273].

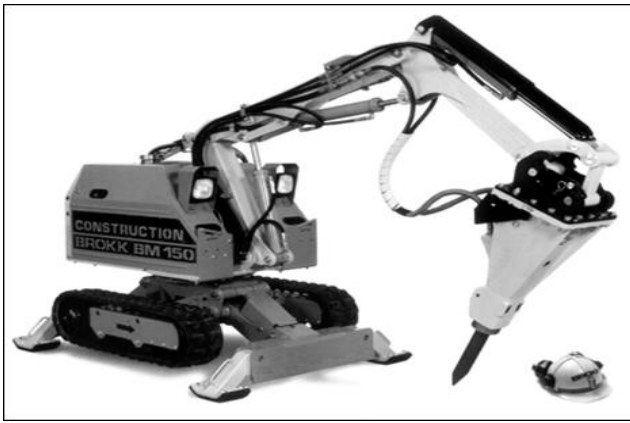
***Основные причины выхода из строя роботов, помимо высоких уровней излучения: с радиоуправлением – потеря сигнала управления из-за радиационных помех, с управлением по кабелю – механические повреждения кабеля при работе.***

**Таблица 1.4.**

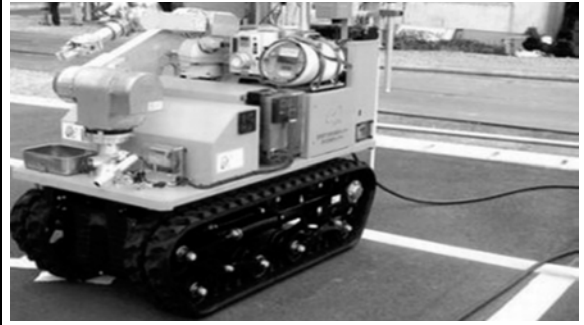
*Технические характеристики инженерных машин с радиоуправлением [85, 203, 204, 213]*

	<b>D75RS-2 (погрузчик) Комацу</b>	<b>Памятка -2 (Бульдозер) ЧТЗ</b>	<b>T10MЧС (погрузчик и манипулятор) ЧТЗ</b>	<b>T10MЧС-02 (бульдозер и манипулятор) ЧТЗ</b>	<b>T10MЧС-03 (погрузчик и манипулятор) ЧТЗ</b>	<b>T10MЧС-04 (бульдозер и манипулятор) ЧТЗ</b>
Масса, кг.	19500	19105	22000	22000	22300	22300
Мощность / частота вращения двигателя, л.с./об/мин	175 / 2100	170 / 1250	180 / 1250	180 / 1250	180 / 1250	180 / 1250
Тип трансмиссии	ГМТ	ГМТ	ГМТ	ГМТ	ГМТ	ГМТ
Число передач вперед / назад	4 / 4	3 / 3	3 / 3	3 / 3	3 / 3	3 / 3
Тяговое усилие, кг	23250	22900	26200	26200	26200	26200
Скорость, км/ч вперед / назад	0-9,4 / 0-11,3	0-10,0 / 0-11,7	0-10,0 / 0-11,7	0-10,0 / 0-11,7	0-10,0 / 0-11,7	0-10,0 / 0-11,7
Дальность уп- равления (от уровня ГИ), м	50 – 100	150 – 1500 (телеуправление)	150 – 2000 (телеуправление)	150 – 2000 (телеуправление)	150 – 2000 (телеуправление)	150 – 2000 (телеуправление)





а)



б)

**Рис. 1.13.** Мобильный робототехнический комплекс BROKK-330 (а) и робот манипулятор, управляемый по проводам (б)

Основные технические характеристики ряда роботов, применявшихся в работе на зараженной местности, при ликвидации последствий аварий в Чернобыле и на Фукусиме приведены в таблице 1.5.

***В настоящее время нет достаточно отработанных методов и конструкций защиты управляющего робототехническим комплексом радиосигнала при высоких уровнях излучений.*** Поэтому учитывая уроки Чернобыля, при ликвидации аварий на ФАЭС, чаще (где это возможно) использовались роботы с управлением по проводам, несмотря на ограниченный радиус их действия, определяемый длиной провода и возможностью его повреждения или обрыва.

В результате ликвидации последствий Чернобыльской и Фукусимской аварии были сделаны следующие выводы по использованию роботизированных машин на РЗМ:

– роботизированные комплексы могут использоваться для разведки мест с очень высокими уровнями излучений, при этом они ограничены по дальности действия;

– для всех машин-роботов (имеющихся на сегодняшний день) при работе на РЗМ с высокими уровнями излучений необходима противорадиационная защита электронной аппаратуры управления, управляющего сигнала и оператора в машине управления.

Таблица 1.5.

Основные технические характеристики ряда роботов, применяемых для работы на РЗМ [21].

Тип	МРК-25М	MV-3	МРК-46М	BROKK Mini Cut	BROKK-330	BROKK- 110D
Изготовитель	МГТУ им. Баумана	Telerob, Германия	МГТУ им. Баумана	Holmhed Systems AG	Holmhed Systems AG	Holmhed Systems AG
Масса, кг	180	600	650	380 <sup>1</sup>	4100 <sup>1</sup>	1400 <sup>1</sup>
Габариты, м: длина/ширина/высота	950/650/900	2260/720/1080	2500/1200/180 0	1195/600/940	1110/1110/-	2340/1110/124 5
Скорость, км/ч	0...2	0...0,7	.0001,5	0...2	–	0...3,5
Радиус действия, м: при управлению по кабелю/по радио	100/–	100/–	200/–	60/–	63/200	10/200
Преодолеваемые препятствия: подъем/стенка, м	40°/0,2	40°/0,6	32°/0,25	–	30°/–	
Тип движителя	гусеничный (полиуретан)			гусеничный (резина)	гусеничный (металл)	гусеничный (резина, металл)

*Продолжение таблицы 1.5*

Тип привода	Электромеханический			Гидравлический		
Система электрообеспечения	аккумуляторные батареи		3-х фазная, 380 В, 50 ГЦ			Дизель-электрический агрегат
Грузоподъемность, кг: номинал/максимум	15/25	20/80	70/100	30 <sup>2</sup>	550 <sup>2</sup>	150 <sup>2</sup>
Число степеней свободы манипулятора	5			4		
Захватное устройство: раскрытие, м/ поворот	0,2/360°	0,3/360°	0,26/±180°	–	–	–
Система наблюдения: камера/прожектор	3/3			–	2/70 Вт	

<sup>1</sup> Полная масса без навесного оборудования

<sup>2</sup> Наибольшая масса сменного инструмента

На сегодняшний день в условиях РЗМ техника, управляемая человеком, по сравнению с роботизированными комплексами, применяется более широко. Это связано не столько с трудностями управления роботизированной техникой, а в основном с отсутствием надежной защиты от радиации радио или телесигнала, с помощью которых управляют современной машиной-роботом.

### **1.3. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН ДЛЯ РАБОТЫ НА РАДИОАКТИВНО ЗАРАЖЕННОЙ МЕСТНОСТИ**

Основное развитие теория проектирования машин для работы на РЗМ получила после аварии на ЧАЭС. Техника, созданная в результате этих исследований в кратчайшие сроки, во многом обеспечила локализацию этой аварии и внесла значительный вклад в ликвидацию ее последствий.

Работой по разработке машин для работы на РЗМ занимается ряд головных институтов и предприятий РФ, среди которых можно выделить: НИИСтали, ФГУП 15 ЦНИИ МО РФ, МВТУ им. Н.Э. Баумана, ФГУП 21 ЦНИИ МО РФ, В/Ч В-2968, А-1664, Р-6476, 12093, 52684-А, ГК «Росатом», ЧТЗ, УВЗ и др.

Технике с ПРЗ оператора и ряда оборудования, методам определения, особенностям расчета и проектирования такой техники посвящены труды: А. В. Виноградова, И.В. Горячева, Н.Г. Гусева, С.В. Еремина, В.И. Журавлева, В. С. Козлова, Ю.П. Костенко, В.П. Машковича, А.Б. Милентьева, А.А. Панченко, Е.С. Фрида, G. Bella, G. Biro, H. Steinberga, S. Glestana, B. Praisa, J. Briesmeistera, K. McConnella, J. Turnera, M. Wellsa, K. Akimasa, S. Yasuyuki, M. Kazuhisa и др.

В трудах этих авторов, рассмотрены особенности работы и расчета машины на РЗМ и использованы следующие методы оценки защиты оператора от излучений: метод Монте-Карло, сочетание методов лучевого

анализа и эквивалентных источников, метод статистических испытаний, ряд других методов.

Методы выбора и оптимизации параметров самой КГМ: довольно полно отработаны в работах К.А. Артемьева, В.И. Баловнева, А.В. Вихрова, Ю.В. Гинзбурга, Б.М. Позина, Д.А. Чудакова, В.В. Гуськова, А.В. Келлера, В.И. Костюченко, Г.О. Котиева, Е.Д. Львова, Б.Л. Магарилло, М.И. Медведева, Ф.А. Опейко, В.М. Шарипова, Н. Kositsu, О. Okodzaki, G. Tomasa и других ученых.

Однако методы и рекомендации, приведенные в трудах этих авторов, не позволяют в полной мере описать методики расчета и выбора рациональных параметров машин для работы на РЗМ, связанных с установкой ПРЗ, особенно при минимуме исходных данных.

Такая техника до сих пор, как правило, рассматривается только как база (по грузоподъемности) для установки кабины с ПРЗ, без оценки влияния этой защиты на изменение функциональных и экономических характеристик базовой машины.

Наиболее близким к оценке эффективности машин с ПРЗ является системный подход к военной технике, где колесная или гусеничная машина рассматривается в составе подразделения, выполняющего боевые задачи. У В.К. Давыдова [110] оценка единичного образца по устанавливаемой заказчиком предельно допустимой (лимитной) цене, у Г.И. Головачева, В.В. Дулепы [47, 48] по минимальным удельным затратам с вероятностью выполнения задачи не ниже требуемой. Эти оценки используют вероятностный метод с экспертной формализацией и не определяют в явном виде конкретные значения рациональных параметров машины.

При расчете ПРЗ бронетанковой и другой военной техники дозы гамма-излучения и нейтронного излучения суммируются с учетом их «вредности» [59, 115, 139].

В настоящее время в научных работах основное внимание уделяется оценке и повышению уровня ПРЗ КГМ, и практически отсутствуют работы в направлении комплексной оценки (в том числе по эффективности) народнохозяйственной техники с ПРЗ. Известные работы по созданию техники для работы на РЗМ, несмотря на их несомненную значимость, нуждаются в развитии, так как не позволяют с достаточной точностью и с минимальными затратами получить необходимые результаты. Это в первую очередь относится к анализу и выбору рациональных параметров машин на начальном этапе проектирования, в зависимости от задач стоящих при эксплуатации конкретной техники на РЗМ.

Первоначально техника с ПРЗ создавалась на основе требований к военной технике, полученных при испытаниях ядерного оружия. Однако дозы и спектры радиоактивного излучения у таких аварий существенно отличаются от характеристик ядерного взрыва, что и послужило основой разработки специальных требований к работе КГМ на РЗМ (опубликовано в «Рекомендациях по оборудованию и проверке биологической защиты транспортных, грузоподъемных и др. средств, предназначенных для проведения работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС» [210], материалах п/я В-2652, В-2968, А-1664, Р-6476, в/ч 12093, 52684-А, работах Ю.П. Костенко, Е.С. Фрида и др) [41, 49, 133 и др.]. В этих работах рекомендуется: осуществлять ПРЗ *исходя из максимально возможного допустимого перегруза техники*; снижение скоростей передвижения; назначать зону работы КГМ на РЗМ и формулировать предложения по эксплуатации машин после исполнения и проверки уровня защиты.

Позднее появились более точные методики и программы расчета ПРЗ машин для работы на радиоактивно зараженной местности (Указания по расчету и проектированию противорадиационной защиты средств инженерного вооружения: машины инженерного вооружения – Кн. 2. – М.: МО СССР [237] и ряд других).

Особенности использования машин на ЧАЭС и предложения по повышению их ПРЗ рассмотрены в работах А. В. Виноградова, В.П. Ковалева, А.Б. Милентьева и др. [36, 149 и др.].

В настоящее время все более совершенствуется теория расчета РЗМ и техники с ПРЗ:

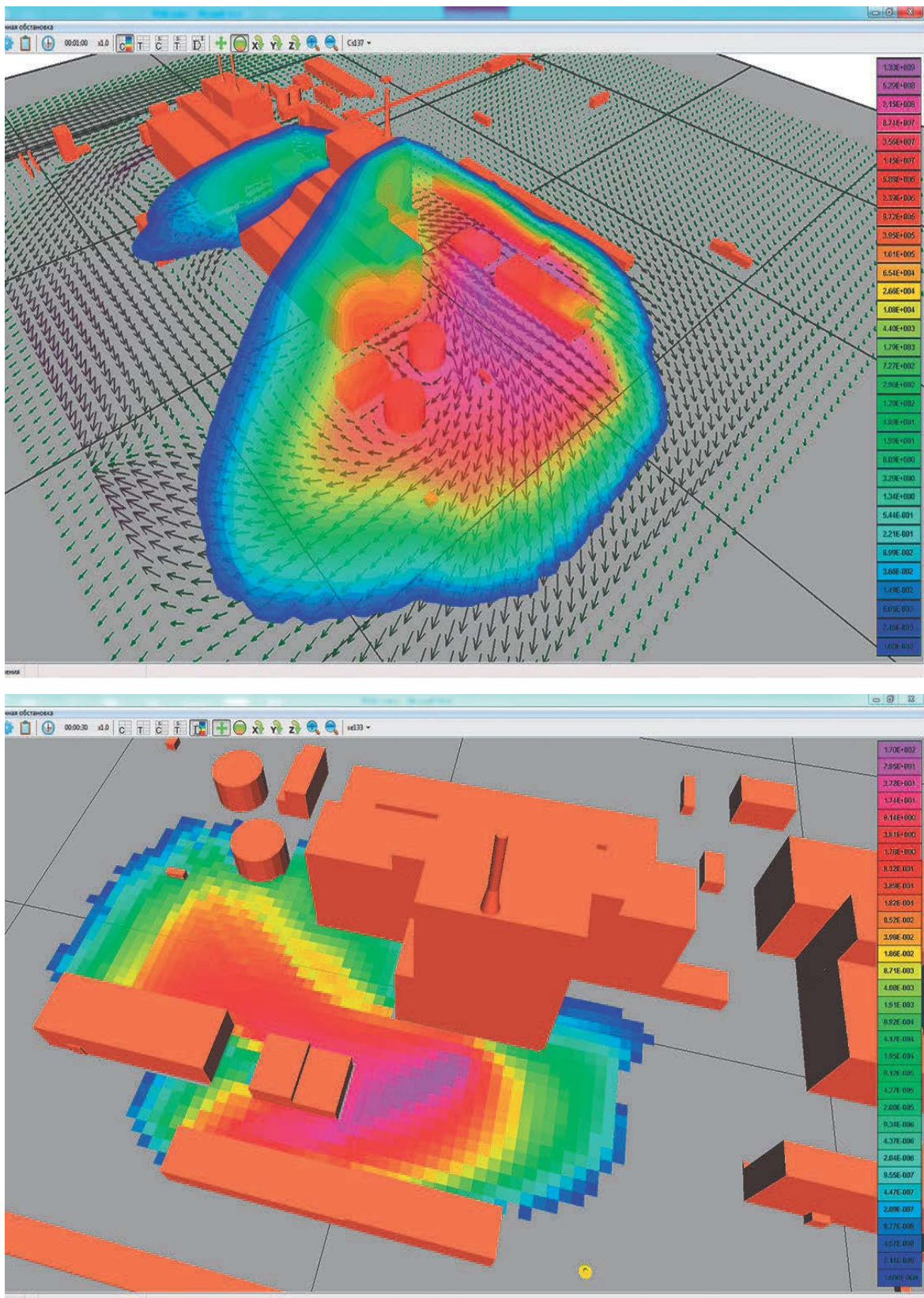
– от моделирования последствий аварий (например, ПС «ВЫБРОС - 3.1», разработчик АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», аттестационный паспорт № 395 от 14.07.2016 – методика расчета выброса, основанная на Гауссовой модели рассеяния примесей в атмосфере; а также модели расчета дозовых нагрузок, с использованием дозовых коэффициентов – ПС «РОУЗ» (рис. 1.14) – в программе реализован CFD (3D) модуль, позволяющий проводить оценку радиационной обстановки с учетом трехмерной геометрии моделируемой местности - застройка, холмы и прочее);

– до собственно защиты, например:

– ПС «ЗАЩИТА-ПРОЕКТ», разработчик АО «СПБАЭП» и НИИ «Физики СПбГУ», аттестационный паспорт № 219 от 21.02.2007 – аналитические формулы для простой геометрии источников и для нерассеянного излучения с использованием факторов накопления,

– программы серии РОЗ (разработчик НИИСтали), DOT3, DORT и ANISN (разработчик Oak Ridge National Laboratory), MCNP4B (разработчик Los Alamos National Laboratory) – для расчета характеристик пространственно-энергетического распределения плотности потока излучения в различных защитных композициях, ряд программ для трехмерной геометрии на основе использования метода Монте-Карло, отечественные – ЗАМОК, РОБОТ, RZ, зарубежные – MORSE и FASTER).

В таблицах 1.6, 1.7 перечислен ряд аттестованных ПС в РФ, в том числе некоторых зарубежных, с помощью которых решаются уравнения переноса нейтронов и фотонов (в том числе ГИ) и защиты конструкций с ПРЗ.



*Рис. 1.14. Пример использования программы «РОУЗ» (разработчик ИБРАЭ РАН, патент РФ № 2018616065, 2018г). Расчет интегральной дозы на промплощадке Белоярской АЭС и изоповерхности мгновенной концентрации  $^{137}\text{Cs}$  на момент времени 60 с (материалы ИБРАЭ РАН)*



**Таблица 1.6.**

Аттестованные ПС для моделирования радиационных последствий аварий на АЭС и др, с выбросом радиоактивных веществ [153]

Наименование ПС	Организация(и)-разработчик	Аттестационный паспорт
ДОЗА-М	НИЦ «Курчатовский институт»	№ 117 от 02.03.2000
«НОСТРАДАМУС»	ИБРАЭ РАН	№ 158.1 от 17.04.2014
«ДОЗА 3.0»	АО «АТОМПРОЕКТ»	№ 338 от 12.09.2013
«VIBROS 2.2»	АО «ОКБМ Африкантов»	№ 354 от 17.04.2014
«RISKZONE V.1.0»	ООО «Лензософт+» и АО «АТОМПРОЕКТ»	№ 368 от 18.03.2015
«ВЫБРОС-3.1»	АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»	№ 395 от 14.07.2016
«СИБИЛЛА» (версия 1.0)	ИБРАЭ РАН	№ 396 от 14.07.2016

**Таблица 1.7.**

Аттестованные ПС для моделирования переноса нейтронов и фотонов в среде, в том числе в ПРЗ [153]

Наименование ПС	Организация(и)-разработчик	Аттестационный паспорт
MCU-REA/2 с библиотекой констант DLC/MCUDAT-2.2	НИЦ «Курчатовский институт»	№ 218 от 19.09.2006
DOT3, DORT и ANISN с библиотеками констант BGL440 и BUGLE-96»	Oak Ridge National Laboratory	№ 233 от 18.09.2005
DOT3, DORT и ANISN с библиотеками констант BGL1000 и BUGLE-96	Oak Ridge National Laboratory	№ 234 от 18.09.2005
MCNP4B с библиотеккой констант DLC189/MCNPDAT	Los Alamos National Laboratory	№ 236 от 18.09.2007
BRAND-ГАММА	ЗАО «Альянс-Гамма» и ЗАО «Спецатомсервис»	№ 304 от 02.04.2012
DORT с библиотеккой констант, основанной на ENDF/B- VI версия 8	Oak Ridge National Laboratory	№ 342 от 21.11.2013
TORT с библиотеккой констант, основанной на ENDF/B-VI, версия 8	Oak Ridge National Laboratory	№ 343 от 18.09.2007
КАТРИН-2.5 ДЛЯ ВВЭР-440	ИПМ им. М.В. Келдыша РАН	№ 356 от 17.04.2014
КАТРИН-2.5 ДЛЯ ВВЭР-1000	ИПМ им. М.В. Келдыша РАН	№ 357 от 17.04.2014
DOT-III, DORT, ANISN с библиотеккой констант BGL1000 и BUGLE-96T	Oak Ridge National Laboratory	№ 370 от 18.03.2015

Расчет ПРЗ оператора узлами машины представляет собой сложную многомерную, многовариантную задачу описывающую перенос излучения с помощью интегрально-дифференциальных уравнений Больцмана для пространственно-временной энергетической плотности потока частиц [3, 41, 42, 49, 59, 63, 216, 234, 239, 260 и др].

Существующие теоретические методы оценки защиты оператора от ионизирующих излучений радиоактивно зараженной местности условно разделяются на два вида: аналитические; имитационные.

К аналитическим методам можно отнести сочетание методов лучевого анализа и эквивалентных источников, аналитический метод Монте – Карло и ряд других методов [42, 49, 216, 237]. Все аналитические методы основаны на решении кинетического уравнения переноса излучения с применением различных численных методов (сферических гармоник, дискретных ординат...). Элементы конструкции машины в них, как правило, принимаются плоскими бесконечными экранами, облучаемыми изотропным по углу источником.

При довольно высокой точности результата применение кинетического уравнения переноса для определения защитных свойств элементов сложной геометрической формы встречает значительные трудности, связанные с их математическим описанием.

Более универсальными являются имитационные методы и, в частности, метод статистических испытаний [42, 216], который представляет собой математическое моделирование процесса переноса излучения в среде. Точность результата при использовании статистического метода зависит от количества прослеженных «историй» частиц, и увеличение этого количества приводит к существенному росту трудоемкости расчетов. Для снижения трудоемкости расчетов обычно рассматривается не вся ПРЗ в целом, а ее отдельные составляющие части (элементы конструкции) [3, 4, 59, 216].

Среди программ, решающих уравнения переноса излучения в одномерной задаче (рассматривается энергия излучения, угол действия излучения и толщина ПРМ), можно выделить: отечественные серии РОЗ [112, 239], зарубежные ANISN [153].

Решение кинетического уравнения в двумерной геометрии связано с большими трудностями, т.к. объем вычислений, по сравнению с одномерной задачей, возрастает примерно в 100 раз. Наиболее известны отечественная программа РАДУГА и зарубежные серии ДОТ [153].

Сложные трехмерные задачи в настоящее время наиболее часто решаются с использованием метода Монте – Карло, при этом применяется ряд зарубежных программ – MORSE и FASTER, а также отечественные – ЗАМОК, РОБОТ, RZ [42, 87].

В РФ обычно при расчете КГМ с ПРЗ используются следующие программы: серии РОЗ (разработчик НИИСтали), DOT3, DORT и ANISN (разработчик Oak Ridge National Laboratory). Эти ПС предназначены для расчета характеристик пространственно-энергетического распределения плотности потока излучения для различных конструкций ПРЗ.

Отдельно можно выделить программу РОЗ – ПРИЗ (разработчик НИИСтали), которая предназначена для решения уравнения переноса ГИ в плоской многослойной геометрии методом дискретных ординат, со специальным блоком расчета защиты от радиации и стандартными таблицами. Общая погрешность расчета по программе РОЗ – ПРИЗ по сравнению с экспериментальными данными составляет 20...25% [46, 115].

Существует целый ряд других методов и методик расчета защиты от ГИ у такой техники.

Для снижения объема и времени расчетов ПРЗ КГМ используются упрощенные инженерные методики. Известны упрощенные инженерные методики, в которых реализуются лучевой метод и метод длин релаксации (ИРЗ-Л), метод плоскостной защиты (ИРЗ-П) и др. [59, 216].

В России, наиболее часто, расчет уровня защиты от ионизирующих излучений оператора (ряда электронных узлов) в расчетных точках производится по методике, изложенной в ГОСТ В 26457, которая представляет собой сочетание методов лучевого анализа и эквивалентных источников. Эта методика использует при расчете ПРЗ КГМ следующую последовательность действий [59]:

- разработка компоновочной схемы машины (с определением размеров и местоположения основных металлоемких узлов, посадки оператора и т. д.) и на ее основе расчетной схемы ПРЗ;

- разбивка поверхности защиты на отдельные элементы (экраны), у которых, чаще всего, форму каждого отдельного защитного экрана можно аппроксимировать плоскостью, при постоянной толщине экрана и набором входящих в него материалов;

- определение показателей ослабления проникающего излучения этими отдельными экранами;

- учет ослабления излучения элементами наружного и внутреннего оборудования;

- суммирование доз излучений, пришедших через элементы машины в расчетные биологические точки;

- определение общего уровня ПРЗ (кратности ослабления излучения) у рассматриваемого объекта в расчетных точках.

По такой же схеме оцениваются защитные свойства от излучений (уровни ПРЗ) у техники и за рубежом [49, 130, 216].

Кабину (как основной элемент ПРЗ) по этой методике приводят к треугольным или четырехугольным плоским однородным по структуре и толщине элементам ПРЗ, которые образуют оболочку – замкнутый многогранник. Узлы шасси, рабочего оборудования, внутреннего оборудования кабины принимаются отдельными элементами в виде параллелепипедов и цилиндров.

Каждому элементу ПРЗ соответствует свое значение телесного угла, определяемого расположением соответствующего узла в машине.

Поле излучения снаружи объекта заменяют на эквивалентный источник, расположенный на внутренней поверхности панели кабины или специально выделенной для этого поверхности. Характеристики эквивалентного источника зависят от толщины и состава элементов оболочки, а также характеристик внешнего поля излучения. Эквивалентный источник рассчитывают на основе решения группового уравнения переноса методом дискретных ординат. Экранирование излучения эквивалентного источника элементами оборудования учитывают множителями.

Доза в расчетной точке без учета отражений излучения во внутреннем объеме объекта рассматривается как совокупность доз излучений, проходящих через отдельные элементы защиты, и определяется по формуле:

$$D_j = \sum_m \int \frac{\Omega_m}{2\pi} D_{mj}(\overline{\Omega_m}) k_{mj}(\overline{\Omega_m}) d\overline{\Omega_m}, \quad (1.1)$$

где  $D_j$  – доза излучения  $j$ -го типа в расчетной биоточке;

$\frac{\Omega_m}{2\pi}$  – геометрический фактор ослабления, равный величине телесного угла элемента  $m$  для заданной расчетной точки;

$D_{mj}(\overline{\Omega_m})$  – доза, проходящая через элемент защиты в расчетную биоточку;

$k_{mj}(\overline{\Omega_m})$  – коэффициент ослабления излучения элементами внутреннего оборудования.

Возможное увеличение дозы в расчетных точках внутри объекта в результате отражения излучения, например от стенок кабины изнутри, учитывается коэффициентами альбедо.

При рассмотрении ПРЗ бронетанковой и ряда другой военной техники дозы ГИ и нейтронного излучения суммируются (с учетом «вредности» данного вида излучения) [59, 115].

В полной дозе нейтронного излучения доля быстрых нейтронов, определяющих в основном поражение экипажа, составляет 25...40%. Доля тепловых нейтронов, вызывающих наведенное ГИ в материалах броневое объекта – около 25%, остальное приходится на нейтроны промежуточных энергий [115].

Решение уравнения переноса объединенного гамма – нейтронного излучения в плоской многослойной геометрии методом дискретных ординат можно получить, например, при использовании программы РОЗ – ПРИЗ, разработанной НИИСтали [112, 115].

Эти рассмотренные ПС и методики при довольно точном результате уровня ПРЗ примеряются в основном для расчета на машинах с известными массово-габаритными параметрами всех основных металлоемких узлов машины (защиты), следовательно, для расчета необходима подробная компоновочная схема машины. Так, например, для расчета (проводился ЧТЗ и НИИСтали) тракторов Т-170 и ДЭТ-250 с ПРЗ по разработанным ЧТЗ компоновкам рассматривалось по ГОСТ В 26457 [59] до 500 элементов защиты (узлы и агрегаты, входящие в двигатель, КПП, бортовые редуктора, ходовую часть, собственно элементы ПРЗ, в первую очередь кабины и т.д.). Изменение модели защиты приводит к изменению компоновочной схемы и необходимости проведения нового расчета.

Таким образом, разработка машины с ПРЗ оператора сводится к разработке ряда конструкций (компоновок) на основе опыта и интуиции конструктора методом проб и ошибок с последующим выбором одного решения из этого ряда. Такой подход требует значительных трудозатрат и не гарантирует получения оптимального (например, по эффективности, уровню защиты или затратам) решения.

Кроме того, отсутствует методика расчета ПРЗ на начальном этапе проектирования новой машины, при отсутствии полной компоновочной схемы.

Связи ПРЗ с техническими параметрами машины мало изучены и требуют дальнейшей научной разработки.

*Существующие на сегодня методики проектирования и расчета, включая рекомендации ГОСТ:*

*– не позволяют оценить уровень защиты оператора, не имея данных по расположению и габаритно-массовым параметрам всех основных металлоемких узлов машины;*

*– не содержат конкретной информации для построения ПРЗ оператора (ряда оборудования) в части соотношения основных параметров защиты (габаритно-массовых и защитных), увязанных с назначением и компоновкой машины.*

#### **1.4. ОСНОВНОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ НА ПАРАМЕТРЫ МАШИНЫ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

*При работе специальной техники на РЗМ необходима специальная защита оператора (части оборудования) от радиоактивного излучения. Уровень этой защиты зависит от уровня заражения местности и должен обеспечивать ПД оператора не превышающую ПДД облучения.*

ПРЗ снижает дозу излучения, получаемую оператором или электронной системой управления, что позволяет увеличить время нахождения машины на РЗМ и, следовательно, увеличить общую эффективность выполненных работ. Эффективность использования техники зависит от ее технической производительности, продолжительности рабочей смены, зависящей от работоспособности оператора (по ПДД) и затрат на ее изготовление и эксплуатацию.

Так как время работы техники на загрязненной территории, особенно с высокими уровнями излучения, зачастую определяется работоспособностью оператора, то все технические параметры машины должны рассматриваться

только после определения необходимого уровня защиты оператора от излучений. Защита является одним из наиболее важных факторов повышения эффективности машины.

Параметры защиты в свою очередь оказывают влияние на технические и эксплуатационные параметры машины, тем самым влияя на ее эффективность. Использование специальных защитных конструкций и новых узлов, как правило, серьезно меняет компоновку и увеличивает массу базовой машины, что может приводить к снижению эффективности машины, ресурса моторно-трансмиссионной установки, рамы или подвески. При этом:

1. Установка ПРЗ на переднерасположенную кабину грузового автомобиля приводит, прежде всего, к значительной дозагрузке (перегрузке) переднего моста, принципиально изменяя сопротивление качению, нагрузки и динамику машины.

2. Сложившийся в практике конструирования БА уровень массы по классу трактора (основной показатель, определяющий класс трактора и целый ряд параметров) для техники с ПРЗ (по сравнению с общей теорией промышленных тракторов) за счет защиты может вырасти до 1,5 и более раз, а уровень удельной мощности двигателя к этой массе соответственно ниже. Для возможности реализации этой возросшей массы в тягу, необходимо изменение технических параметров машины.

3. У КГМ существенное увеличение массы за счет ПРЗ без изменения колеи и базы машины соответственно ухудшает подвижность, поворотливость и т.д., у таких машин также обычно значительно (в разы) снижают транспортные и рабочие скорости машины.

Установка специальной защиты также приводит к смещению центра тяжести машины, что в значительной степени сказывается на тягово-скоростных характеристиках машины и сопровождается, как правило, увеличением расхода топлива.



Таким образом, при разработке таких машин с ПРЗ необходима всесторонняя оценка не только новых специальных узлов защиты оператора, но и базовой машины в целом. Из вышеизложенного, можно сформулировать **основное противоречие при установке ПРЗ**, возникающее при проектировании машин для работы на РЗМ:

- **с одной стороны ПРЗ, являющаяся неотъемлемой частью машины, позволяет увеличить время нахождения (работы) оператора (машины) в зоне работы на РЗМ и тем самым увеличить объем выполненных работ;**

- **с другой стороны установка такой защиты значительно влияет на все основные технические и эксплуатационные характеристики самой машины, прежде всего снижая ее техническую производительность.**

Установка ПРЗ на КГМ также приводит к:

– увеличению массы КГМ, что повышает нагрузку на базовую машину (прежде всего на шасси), ухудшая ее прочностные характеристики;

– смещению центра тяжести, что способствует росту усилия сопротивления передвижению, падению тягового КПД, ограничению подвижности и маневренности машины, снижению скорости передвижения;

– уменьшению обзорности, что ухудшает эргономические условия работы оператора и способствует его повышенной утомляемости.

***Причем чем выше уровень ПРЗ и, соответственно, масса такой защиты, тем больше ее влияние на базовое шасси, машину в целом и их характеристики.***

***Очевидна необходимость комплексного решения этого противоречия. Повышение эффективности такой техники, основанное на развитии одного какого-либо параметра (уровень ПРЗ, техническая производительность, мощность, скорость, грузоподъемность...), нерационально.***

Перечисленные вопросы являются основным предметом данного исследования.

Необходимость определения рациональной защиты оператора (ряда электронной аппаратуры), других взаимосвязанных с ней рациональных технико-экономических параметров, с точки зрения эффективности конкретной машины с ПРЗ в конкретных условиях применения КГМ на заданной РЗМ позволила сформулировать **цель и задачи исследования.**

**Цель исследования – развитие методологии расчета и проектирования КГМ для работы на РЗМ, выработка рекомендаций по совершенствованию параметров таких машин и их внедрение в практику проектирования.**

Для достижения указанной цели в работе поставлены и решены следующие **задачи исследования:**

1. Сформулировать концепцию нового комплексного системного подхода к КГМ с ПРЗ для работы на РЗМ, как основу развития методологии их проектирования.

2. Разработать методику оценки защиты оператора (ряда электронных узлов машины) от ГИ, применимую уже на начальном этапе проектирования (без подробной компоновочной схемы машины).

3. Построить математические модели выбора рациональных конструктивных и эксплуатационных параметров отдельных элементов и машины в целом для ее эффективной работы на РЗМ. Установить взаимосвязи параметров ПРЗ и технико-экономических характеристик машины.

4. Провести экспериментальную оценку теоретических положений.

5. На основе результатов исследования, дать количественную оценку эффективности предлагаемых мероприятий.

6. Разработать и реализовать практические рекомендации и новые технические решения по совершенствованию машин с ПРЗ.

## 1.5. ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ

1. Сложившаяся в мире ситуация в области образования, использования, обезвреживания, хранения и захоронения радиоактивных отходов ведет к опасному загрязнению окружающей среды, значительному экономическому ущербу и представляет реальную экологическую проблему. Борьба с радиоактивным загрязнением невозможна без широкого применения специальных КГМ. Как правило, эти машины создаются на базе серийной техники с дополнительной установкой ПРЗ оператора и ряда электронного оборудования.

2. Установка ПРЗ оказывает существенное влияние на эффективность и другие технические параметры КГМ:

– с одной стороны такая защита позволяет увеличить время нахождения машины (оператора) в зоне радиации и тем самым увеличить объем выполненных работ;

– с другой стороны установка защиты увеличивает массу КГМ, нагрузку на шасси, снижает подвижность и маневренность машины, скорости передвижения, эргономические условия работы оператора, уменьшает обзорность и т.д., что приводит к ухудшению технической производительности КГМ.

Очевидна необходимость определения рациональной (с точки зрения эффективности машины) защиты от радиации в конкретных условиях применения такой техники на РЗМ.

Известные научные работы, методики оценки и рекомендации применения КГМ с ПРЗ оператора не показывают в явном виде взаимосвязи между параметрами ПРЗ оператора и технико-экономическими параметрами машины. Возможности использования известных рекомендаций при выборе рациональных параметров и конструкций работающей на РЗМ техники ограничены, для расчета защиты от радиации необходима подробная компоновочная схема машины.

По существу это методики сравнительной оценки разработанных (а не проектируемых) машин. Все это снижает эффективность разработки и применения таких машин на РЗМ.

**3.** Отсутствие достаточных научных обоснований и научно-обоснованных технических решений приводит не только к пониженной эффективности такой техники, нерациональным ее параметрам, но и существенным ошибкам в методологии расчета и проектирования.

Повышение эффективности такой техники, основанное на развитии одного какого-либо параметра (уровень ПРЗ, техническая производительность, мощность, скорость, грузоподъемность...) нерационально.

**4.** Разработка машины с ПРЗ оператора сводится, по существу, к разработке ряда конструкций на основе опыта разработчика. Такой подход требует значительных затрат времени и не гарантирует получения оптимального результата. Методики расчета не позволяют оценить уровень защиты оператора, не имея довольно подробной компоновочной схемы – данных по расположению и габаритно-массовым параметрам всех основных металлоемких узлов машины (ГОСТ В 26457 и др.).

Выбор ряда рациональных основных технических параметров КГМ для работы на РЗМ невозможен без оценки влияния на них ПРЗ, в том числе на смещение центра масс (ЦМ) машины, значения тяговых характеристик, нагрузок, коэффициента буксования, прочностную надежность и, в конечном счете, непосредственно на производительность техники.

**5.** В настоящее время: практически отсутствуют научные работы в направлении дальнейшей разработки народнохозяйственной техники с ПРЗ; у заказчика (ГК «Росатом» и др) обычно используются серийные базовые шасси без доработки под условия РЗМ и установку ПРЗ; разработка конструкции ПРЗ и ее установка, часто производится «кустарным способом» в местах эксплуатации.

## **ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАШИН, РАБОТАЮЩИХ НА РАДИОАКТИВНО ЗАРАЖЕННОЙ МЕСТНОСТИ**

В результате анализа существующих работ по расчету технических параметров, конструкции и эффективности КГМ с учетом ПРЗ (приведенных в первой главе), установлено:

1. Основное развитие теория расчета и проектирования машин для работы на РЗМ (в условиях ГИ) получила после аварии на ЧАЭС.

*При этом КГМ, как правило, рассматривались (и рассматриваются сейчас) в виде базы для установки ПРЗ с максимально возможным уровнем защиты, без адекватной оценки влияния защиты от ГИ на изменение функциональных (производительности...) и экономических характеристик самой машины.*

2. Расчет и оценка связей ПРЗ и других технических параметров машины, особенно на начальном этапе проектирования, малоизучены; предлагаемые в них методики расчета и проектирования машин с защитой от ГИ слабо взаимообусловлены и взаимоувязаны между собой, что снижает эффективность разработки и применения таких машин на РЗМ.

3. Определение уровня ПРЗ оператора производится по физико - математической модели защиты разрабатываемой по чертежно-технической документации, на начальном этапе проектирования по подробной геометрической схеме машины (ГОСТ В 26457 и др.). При этом необходимо знать расположение и габаритно-массовые параметры всех основных элементов конструкции машины, материалы, из которых они изготовлены, а также места размещения экипажа.

Для расчета измененного варианта ПРЗ меняется геометрическая схема (компоновка) и соответственно модель защиты.

4. Таким образом, разработка КГМ с ПРЗ сводится, по существу, к разработке ряда конструкций на основе опыта и интуиции конструктора, методу проб и ошибок и выбору решения из этого ряда, что требует значительных трудозатрат и не гарантирует получения оптимального решения.

## **2.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН С ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТОЙ**

Основные положения предлагаемой методологии комплексного подхода расчета и проектирования КГМ для работы на РЗМ:

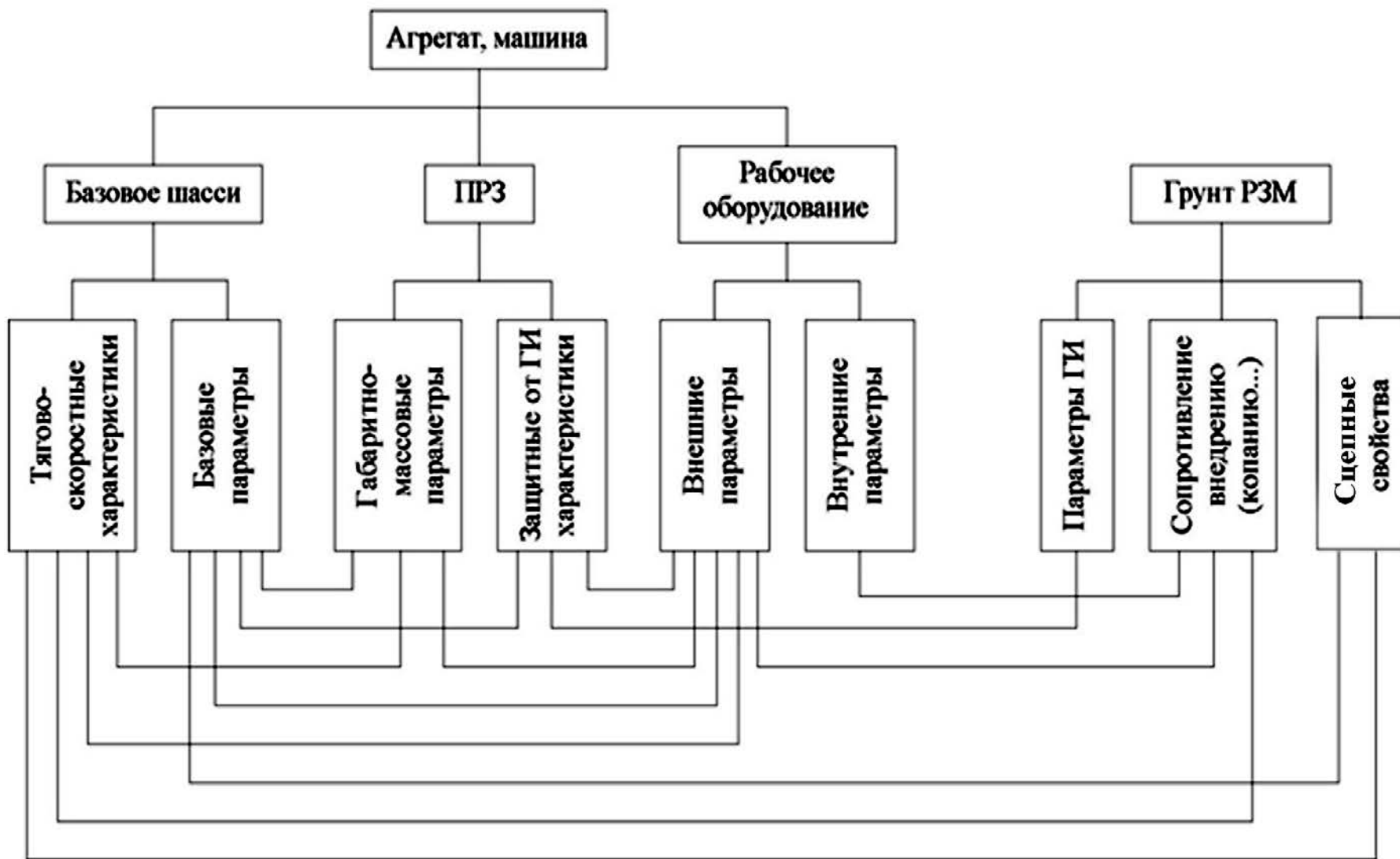
– ПРЗ является подсистемой машины в общей системе «РЗМ – машина – оператор» и определяется характеристиками базовой машины и РЗМ [109];

– ПРЗ оператора рассматривается во взаимосвязи практически со всеми основными характеристиками и параметрами базовой машины и проектируется по требованиям ГОСТ для соответствующих КГМ (автомобили, тракторы, экскаваторы, погрузчики и т.д.) и уровням (ПДД) действующих норм радиационной безопасности [154...157, 197 и др.];

– расчет и оценка параметров и характеристик базового шасси, рабочего оборудования, кабины и их ПРЗ проводится на ранней стадии проектирования по новым математическим моделям, методикам и рекомендациям, без подробной компоновочной схемы машины;

– вводится оценка эффективности использования машины на зараженной территории по критерию «эффективность – затраты».

Учет влияния ПРЗ оператора на характеристики машины возможен только при рассмотрении защиты, как неотъемлемой части КГМ (рис. 2.1), причем уровень ПД, полученной оператором (и рядом электронных блоков), при любых условиях не должен превышать соответствующей ПДД.



*Рис.2.1. Обобщенная структурная схема связей, влияющих на эффективность использования техники на РЗМ [109]*

Такой подход определяет целый ряд специфических требований к КГМ и защите от ионизирующих излучений, существенно меняет требования к базовой машине, ее параметрам и конструкции и делает некоторые научные результаты и рекомендации, выработанные общей теорией, неприменимыми к технике, работающей на радиоактивно зараженной территории [87, 109].

В связи с этим, необходимо установить взаимосвязи ПРЗ с другими техническими и эксплуатационными характеристиками базовой машины, в том числе с ее эффективностью и технической производительностью работы на РЗМ.

Проектирование новых машин для работы на РЗМ предлагается осуществлять в следующей последовательности:

- расчет необходимой защиты оператора от излучения узлами базовой машины (шасси, рабочим оборудованием);
- определение параметров кабины с ПРЗ, с учетом ПДД (в том числе по ее уровням защиты с разных направлений);
- определение возможных технико-эксплуатационных параметров машины, а также возможных изменений по базовому шасси с учетом установки ПРЗ;
- расчет и выбор рациональных параметров машины по максимальной эффективности, или по другим требованиям (например, по максимальному уровню защиты от ионизирующих излучений), в зависимости от поставленных заказчиком задач;
- применение, по возможности, максимально близких к выбранным по предыдущему пункту (рациональным) техническим параметрам и конструкциям машины, в зависимости от конкретных особенностей выбранной базовой машины и установленной ПРЗ;
- оценка эффективности машины для конкретных условий работы в эксплуатации.



В таблице 2.1 приведены отличия основных этапов расчета заданных заказчиком параметров оценки КГМ, работающей на РЗМ, по разным инженерным методикам, в том числе по методике с учетом предлагаемой методологии расчета и новых рекомендаций по конструкции машин. Выделены особенности рассматриваемых методик и преимущества использования новой методики и ее результатов (прежде всего на начальном этапе проектирования).

Получение максимального (рационального) расчетного результата по параметрам на реальных конкретных машинах при установке ПРЗ (особенно у существующих, а не вновь разрабатываемых машин) не всегда возможно. При этом очевидна необходимость применения возможных (рациональных для конкретной базовой машины), максимально близких к расчету, параметров конкретной машины со специальной защитой для работы на конкретной РЗМ.

Наиболее часто встречаются следующие основные ограничения изменения конструкции существующей КГМ при установке ПРЗ для получения основных расчетных оптимальных параметров:

- компоновочные (невозможность или нецелесообразность, из-за значительных переделок, изменения конструкции машины);
- производственные (сложность или невозможность, на сегодняшний день на данном предприятии, изготовления узла или агрегата с оптимальными по расчету параметрами);
- функционально-стоимостные (значительные финансовые затраты на переделку, когда стоимость затрат больше эффекта от внедренного мероприятия);
- особенности конкретной РЗМ (наличие и нестандартное месторасположение «радиоактивных пятен» с более высоким уровнем ГИ, чем у остальной местности и др.);
- эксплуатационные (недопустимое снижение надежности и прочности конструкции машины) и ряд других факторов.

**Таблица 2.1**

*Особенности и отличия предыдущих и предлагаемой методик расчета и проектирования КГМ на РЗМ*

№	Большинство предыдущих методик	Предлагаемая методика
1	2	3
	<p>КГМ – базовое шасси для установки ПРЗ. Шасси (кроме мест установки ПРЗ) практически не дорабатывается.</p> <p><b>Цель: Установка ПРЗ обеспечивающей заданный заказчиком уровень защиты (часто максимально возможный по грузоподъемности базовой машины).</b></p>	<p>ПРЗ как подсистема в системе «РЗМ – машина – оператор». Необходима доработка шасси (его систем и узлов) для достижения поставленной цели.</p> <p><b>Цель: Максимальная эффективность КГМ при работе на заданной РЗМ.</b></p>
<b>2. Подготовка исходных данных для расчета параметров машины</b>		
2.1	<p>Разработка подробной компоновочной схемы машины (обычно <b>нескольких вариантов</b>) с установкой всех основных металлоемких узлов и агрегатов с учетом ПРЗ.</p> <p><b>Разработка по существу сводится к разработке ряда конструкций на основе опыта и интуиции разработчика и не гарантирует получения оптимального решения.</b></p>	<p><b>Предварительный выбор основных технических параметров машины с учетом ПРЗ (обеспечивающих максимальную эффективность)</b> по предложенным в диссертации методикам и рекомендациям. По результатам выбора этих технических параметров разрабатывается компоновочная схема машины с максимальным (рациональным) приближением к выбранным параметрам.</p>

*Продолжение таблицы 2.1*

<b>3. Оценка уровня ПРЗ</b>		
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
3.1	Разбивка защиты машины на отдельные элементы (по ГОСТ В 26457 [59] рассматривалось до 500 элементов) и представление их в виде простых фигур (параллелепипеды, цилиндры...).	Защита делится на 3 укрупненных блока: узлы базового шасси, рабочего оборудования и кабины (на этапе 2.1). Желательно обеспечить за счет компоновки максимальный уровень защиты узлами шасси, рабочим оборудованием и местом установки кабины.
3.2	Оценка ПРЗ по дозе в расчетной точке (отношению доз без защиты и за защитой), равной сумме доз излучений прошедших <b>через все элементы машины</b> по п. 3.1.	Оценка ПРЗ по дозе в расчетной точке (отношению доз без защиты и за защитой), равной сумме доз излучений прошедших <b>через 3 блока защиты</b> по п. 3.1 (на этапе 2.1). При необходимости, для более точного определения уровня ПРЗ его оценку можно провести по старой схеме.
3.3	Проверка уровня ПРЗ на соответствие заданному заказчиком. Если не соответствует – меняется компоновка машины, выбирается другая база, меняется требования заказчика к уровню ПРЗ...	Этап не нужен. Эти вопросы уже решены на этапе 2.1.

Продолжение таблицы 2.1

<b>4. Влияние ПРЗ на другие технические параметры машины. Изменение параметров базовой машины</b>		
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
4.1	Обычно не рассматривается. Параметры базовой машины, как правило, не меняются. Есть ряд рекомендаций общего характера (снизить скорость, уменьшить нагрузку, усилить раму накладками и т.д.).	Для получения максимальной эффективности меняются параметры базовой машины и рабочего оборудования, в первую очередь в зависимости от массы и места установки ПРЗ.
4.2	Ряд основных характеристик машины с ПРЗ обычно определяется экспериментально, по факту (производительность, скорость...).	Основные характеристики определяются на этапе 2.1 и уточняются при разработке и испытаниях машины.
<b>5. Оценка эффективности машины на конкретной РЗМ</b>		
5.1	Оценивается возможностью работы на РЗМ по полученной, как правило, неоптимальной как по уровню, так и эффективности ПРЗ. С производительностью машины по факту.	Рациональная (близкая к оптимальной) эффективность по критерию «эффект - затраты» (расчет на этапе 2.1, с обеспечением ПД оператора не выше ПДД), с максимальной (или близкой к максимальной) производительностью при установке ПРЗ, уточняется при разработке и испытаниях машины.

Машина с ПРЗ с точки зрения методики расчета представляет собой сложную техническую систему, основную оценку которой предлагается вести по максимальной эффективности на конкретной РЗМ (заданной местности или группе местностей).

## **2.2. ОСНОВЫ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНИКО - ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МАШИНЫ С ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТОЙ ОПЕРАТОРА**

*Основные положения при оценке эффективности параметров ПРЗ и машины в целом:*

1. Уровень защиты от ионизирующих излучений при любых условиях должен обеспечивать получение оператором дозы не выше действующей на данное время предельно допустимой дозы;

2. Учет ограничений по тактико-техническим характеристикам машины и стоимости ряда ее узлов;

3. Расчет оценки эффективности машины на РЗМ предлагается проводить в направлении:

– расчет параметров ПРЗ базового шасси, кабины и рабочего оборудования, при его наличии (по возможности обеспечить за счет компоновки максимальный уровень ПРЗ узлами шасси, рабочего оборудования и местом установки кабины);

– расчет и выбор возможных технико-экономических параметров машины, максимально приближенных к рациональным расчетным;

– оценка вклада установленной защиты от ионизирующих излучений в общую эффективность машины;

– получение общей эффективности работы КГМ на конкретной РЗМ путем складывания оценки вклада ПРЗ и эффективности работы машины за счет изменения ее параметров (производительность  $P$  и затраты  $Z$ ).

Предлагаемая схема расчета технико-экономической оценки КГМ с ПРЗ оператора (ряда электронных узлов) приведена на рис. 2.2.

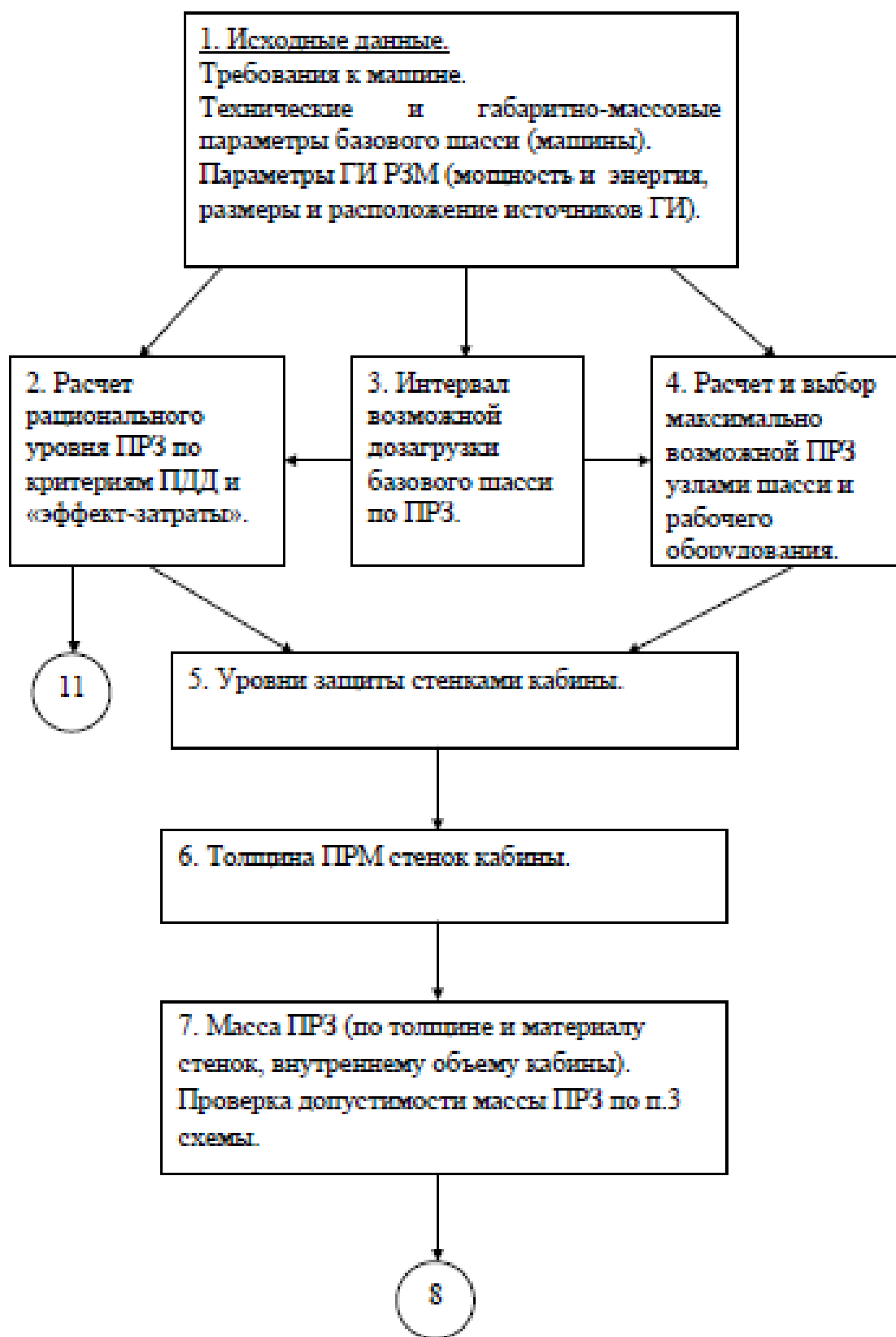
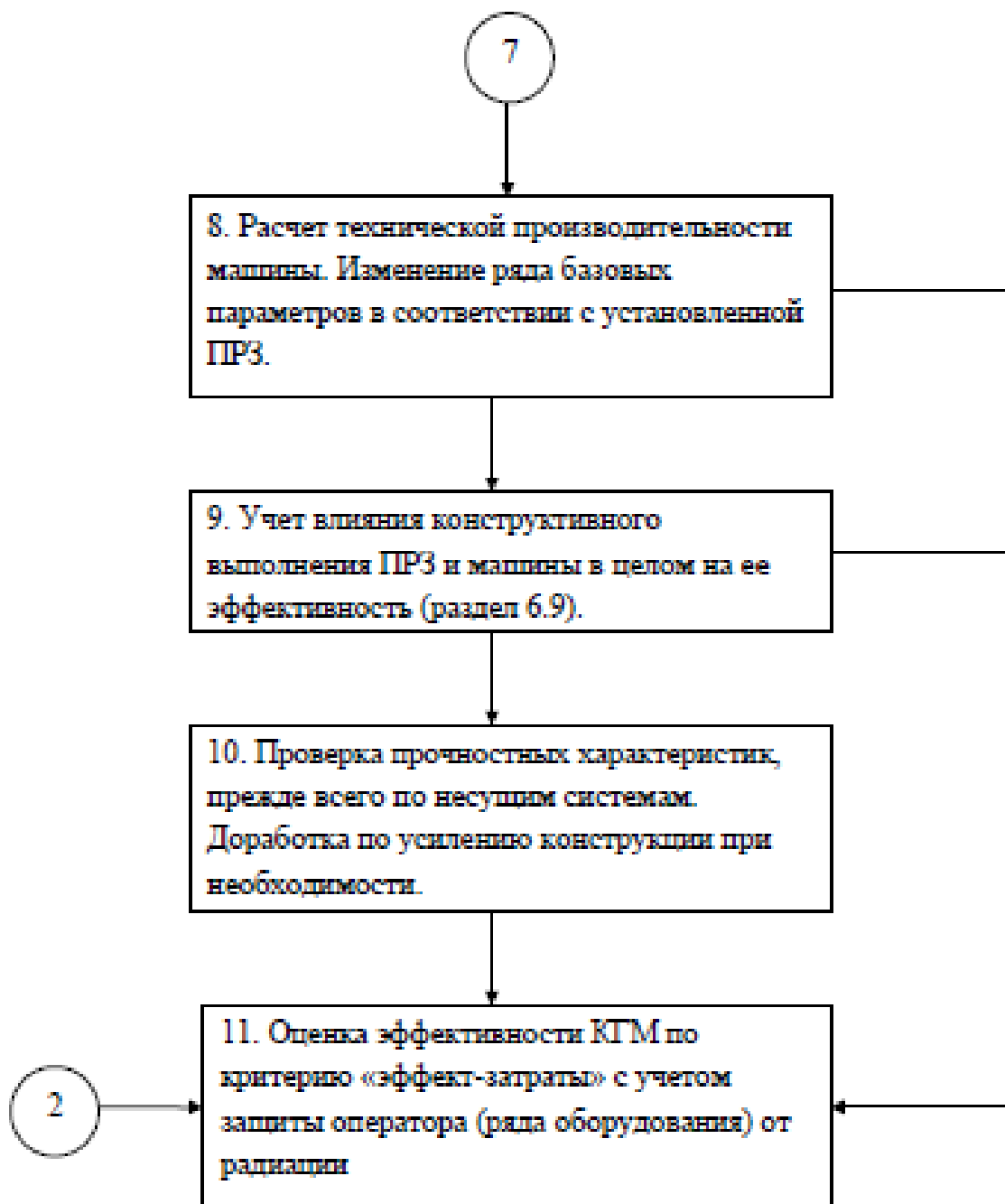


Рис. 2.2. Схема расчета технико-экономической оценки машины с ПРЗ оператора (начало)



*Рис. 2.2. Схема расчета технико-экономической оценки машины с ПРЗ оператора (окончание)*

В общем виде эффективность ( $\mathcal{E}$ ) использования машин с защитой оператора от ионизирующих излучений при заданной ПДД определяется следующими характеристиками и параметрами:

- характеристиками поля гамма-излучения радиоактивно зараженной местности (размерами, мощностью дозы и энергией излучения);
- уровнем биологической защиты оператора;
- технической производительностью ( $П$ ) машины;
- общими затратами ( $\mathcal{Z}$ ) на машину и оператора, в том числе стоимостью машины и затрат на ее эксплуатацию и ремонт, стоимостью ПРЗ и затратами на оплату работы и реабилитацию операторов;
- продолжительностью ( $t$ ) рабочего времени смены, включая время ввода и вывода машины из зоны работ.

### **2.3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАШИНЫ НА РАДИОАКТИВНО ЗАРАЖЕННОЙ МЕСТНОСТИ**

Проектирование эффективной КГМ невозможно без расчета ее рациональных параметров [26, 43, 136, 221]. Выбор рациональных параметров и характеристик конкретной машины определяется максимальной эффективностью ( $\mathcal{E}$ ) ее работы на конкретной РЗМ.

*Задача эффективной работы КГМ обычно заключается в выборе параметров и характеристик машины, обеспечивающих ее максимальную эффективность ( $\mathcal{E}$ ) при работе на конкретной (заданной) РЗМ.* Это положение имеет место для любой КГМ с максимально возможным по конструкции (рациональным) приближением к выбранным параметрам.

Эффективность машины в общем виде включает в себя две составляющие: результативность (производительность) и экономичность (затраты) [119]. На эти параметры существенно влияет ПРЗ и чем выше уровень излучения, тем значительнее это влияние.



Эффективность работы машины на РЗМ определяется изменяемыми критериями, элементы которого – функции параметров машины и поля ГИ РЗМ, а задача получения максимальной эффективности выражается зависимостью, где максимальная эффективность ( $\mathcal{E}$ ) в общем виде определяется производительностью ( $\Pi$ ), временем работы на РЗМ ( $T$ ) и приведенными затратами на единицу выполненной работы ( $З$ ):

$$\max \mathcal{E} = f(\max \Pi, \max T, \min З), \quad (2.1)$$

Таким образом, задача максимальной эффективности работы КГМ на конкретной РЗМ заключается в установке рациональных: ПРЗ и измененных взаимосвязанных с ней базовых параметров машины (массово-габаритных параметров, передаточных чисел трансмиссии, параметров рабочего оборудования и др.), для получения соответствующих (рациональных для заданных условий) технико-эксплуатационных характеристик машины (тяговое усилие, скорость, производительность, прочность, стоимость и др.).

Рассмотрим элементы составляющие формулу (2.1) более подробно.

1. **Техническая производительность** является функцией основных параметров машины и условий места работ

$$\Pi = f(M, L, B, h_{ц}, T_i, V, N, D_{\zeta}, D_v, H_{po}, B_{po}, t), \quad (2.2)$$

*конструктивные параметры:*  $M$  – масса (var),  $L$  – база,  $B$  – колея,  $h_{ц}$  – вертикальная координаты центра масс (var);

*тягово-цепные параметры:*  $T_i$  – тяговое усилие в контакте движителя с грунтом (var),  $V$  – скорость движения на  $i$  передаче (var),  $N$  – мощность двигателя (var),  $D_{\zeta}$  – тяговый диапазон моторно-трансмиссионной установки (var),  $D_v$  – скоростной диапазон моторно-трансмиссионной установки (var);

*параметры рабочего оборудования:* например, для бульдозера –  $H_{po}$  – высота отвала бульдозерного оборудования (var),  $B_{po}$  – ширина отвала бульдозерного оборудования (var);

*время работы машины  $t$*  в условиях излучения (var), определяется возможностью оператора находиться в зоне излучений по предельно допустимым дозам облучения, зависит от характеристик ПРЗ и поля излучения РЗМ;

(var) – вариативный, изменяемый параметр, зависящий от уровня и массы ПРЗ.

Независимые (неизменяемые) от ПРЗ базовые параметры машины условно принимаются постоянными (равными параметрам базового шасси).

**2. Продолжительность работы машины на РЗМ ( $T$ ),** в основном определяется временем нахождения на РЗМ одного оператора (время смены) и зависит от мощности и энергии излучения зараженной территории, уровня ПРЗ, определяемого кратностью ослабления излучения, и ПДД:

$$T_{см} = f(P_0) = \frac{K_M \cdot ПДД}{P_0} \quad (2.3)$$

где  $K_M$  – кратность ослабления ГИ узлами машины;

$ПДД$  – предельно допустимые дозы облучения,

$P_0$  – мощность дозы ГИ на участке производства работ.

Возможно последовательное применение нескольких операторов на машине (замена одного оператора на другого при наборе каждым из них ПДД). Однако при оценке эффективности использования управляемой оператором техники на РЗМ необходимо также учитывать время ее передвижения до рабочей зоны и выхода из нее, так как набор дозы

излучения оператором начинается уже с момента ввода машины в зону излучений РЗМ. При этом время собственно работы каждого из операторов (по ПДД) и машины в целом уменьшается с учетом дозы излучения, полученной оператором во время входа машины до зоны работ и ее выхода из этой зоны.

***Чем выше уровень радиационного заражения местности и дальше находится место работы от места ввода КГМ в зону повышенных ионизирующих излучений, тем меньше остается времени непосредственно на работу.***

3. **Затраты на машину с ПРЗ оператора от ионизирующих излучений**

$$Z = (Z_w + Z_э + Z_с + Z_o), \quad (2.4)$$

где  $Z_w$  – затраты на создание базовой машины с обычной кабиной, подобной по размерам и внутреннему оборудованию кабине с защитой от излучения;

$Z_э$  – эксплуатационные затраты (стоимость горюче-смазочных материалов, на капитальный и текущий ремонты, заработная плата обслуживающего персонала и т.д.);

$Z_o$  (var) – затраты на содержание оператора включающие затраты на обеспечение человеку нормальных условий существования (заработная плата, социальные затраты и т.д.) и затраты на обеспечение мер по реабилитации ущерба, причиненного здоровью радиацией;

$Z_o$  (var) – затраты на защитный экран.

Первые две части затрат ( $Z_w$  и  $Z_э$ ) можно условно считать постоянными (не зависящими от параметров ПРЗ) для любой КГМ. Это позволяет пренебречь ими в расчетах эффективности использования биологической защиты оператора.

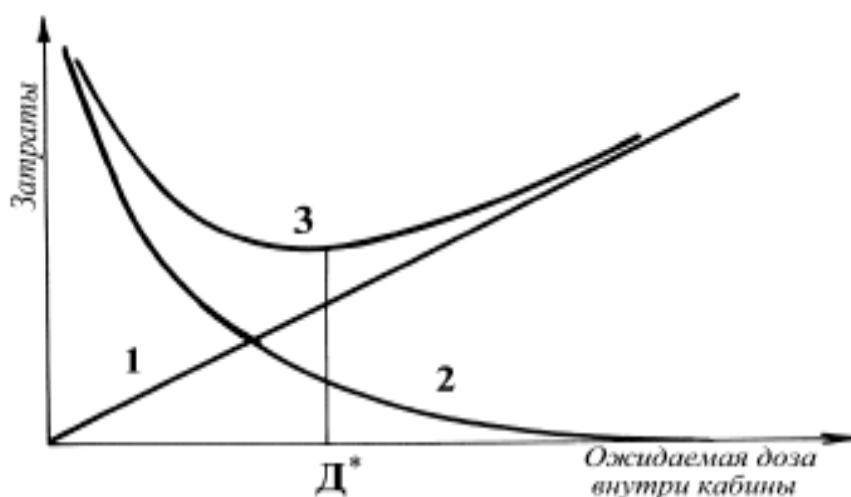
3.1. Эффективность применения защиты оператора от ионизирующих излучений может быть оценена для конкретной зоны работ (определяемой в первую очередь размерами источника излучения, его энергией и мощностью дозы излучения), соотношением затрат на содержание оператора без защитного экрана к суммарным затратам на защитный экран и содержание оператора за ним:

$$\mathcal{E}_{\text{ПРЗ}} = \frac{Z_o}{Z_{\text{оПРЗ}}}, \quad (2.5)$$

где  $Z_o$  – затраты на содержание оператора без защиты;  
 $Z_{\text{оПРЗ}}$  – затраты на содержание оператора с защитой.

В общем виде отдельные и суммарные затраты на создание защитного экрана и содержание оператора в виде графиков показаны на рис. 2.3.

Параметры ПРЗ, соответствующие значениям дозы  $D^*$  (обычно равной ПДД), определяют максимальную эффективность применения защитного экрана ПРЗ КГМ (минимальные суммарные затраты на защиту и содержание оператора за защитой) [114].



**Рис. 2.3.** Соотношение затрат на содержание оператора и создание защитного экрана в зависимости от дозы гамма-излучения [87, 114]:

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

4. При проектировании специальной машины для работы на радиоактивно загрязненной территории *на базе уже существующей серийной машины, решение задачи выбора рациональных (близких к оптимальным) параметров КГМ с ПРЗ заключается в определении изменяемых (var) рациональных параметров, на которые влияет ПРЗ.*

Предлагаемая методика позволяет не только создавать эффективные машины для работы на РЗМ с заданными параметрами РЗМ, но и количественно сравнивать эффективность работы двух машин, выполняющих одинаковую (подобную) работу (разделы 6.7, 6.8).

#### **2.4. ПРЕДЛАГАЕМАЯ МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА МАШИН С ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТОЙ**

При проектировании различных колесных и гусеничных машин, работающих в условиях РЗМ, помимо общепринятых требований к их конструкции, предъявляются дополнительные требования по обеспечению необходимой защиты оператора (по ПДД излучения) и связанными с этим изменениями.

Рассмотрим предлагаемую методику проектирования различных машин с защитой от радиоактивных излучений на примере получения максимальной эффективности работы конкретной машины на заданной РЗМ (наиболее частая основная задача, стоящая при проектировании любой КГМ).

**Параметры машин с противорадиационной защитой в основном определяются:**

- компоновочной схемой;
- параметрами конструкции (масса машины и ПРЗ, габаритные размеры, рабочее оборудование, мощность двигателя, передаточные числа трансмиссии и др.);

– внутренними характеристиками агрегатов и систем машин, представленными в виде зависимостей между переменными выходными характеристиками;

– внешними характеристиками и показателями (уровень защиты от излучения, тягово-скоростная характеристика машин, расход топлива при заданной нагрузке и др.).

Отличительной особенностью машин работающих на РЗМ является наличие ПРЗ, которая помимо защиты оператора и части оборудования машины, оказывает влияние на другие основные параметры конструкции и характеристики машины.

**Основные исходные данные для проектирования машин с ПРЗ (на начальном этапе расчета основных параметров и характеристик):**

– основные параметры и характеристики выбранного базового шасси (при его наличии), при необходимости возможен подбор базового шасси (его технических параметров) под установку ПРЗ, необходимой для работы на заданной РЗМ;

Для расчета ПРЗ:

– базовое шасси (масса, габаритные размеры, положение центра тяжести, грузоподъемность, координаты места положения оператора, значения и координаты точек приложения действующих внешних сил);

– габаритно-массовые параметры рабочего оборудования;

– количество и схема расположения операторов;

– параметры поля излучения (энергия и мощность излучения, места расположения источников излучения).

**Предлагаемая автором методика проектирования машин с ПРЗ**

сводится к поэтапному определению параметров и характеристик от защиты до машины в целом (подробнее информация по каждому этапу, положению приводится в соответствующих главах диссертации).

Проектирование машин для работы на РЗМ начинается с определения необходимого уровня защиты, который определяется мощностью и энергией дозы излучения загрязненной территории и ограничивается значениями ПДД облучения оператора (ряда электронных блоков машины).

#### **2.4.1. Выбор базового шасси**

Базовое шасси выбирается одновременно по двум направлениям:

- работа без учета условий РЗМ;
- с учетом особенностей работы на радиоактивно зараженных территориях.

Выбор базовой машины без учета условий РЗМ осуществляется по стандартной методике с учетом:

- вида, объема и срока выполняемых работ, необходимого рабочего оборудования, условий эксплуатации (требования ТТЗ, производительность и стоимость машины (в том числе в эксплуатации), климатическая зона, категории грунтов, прочие условия) и т.д.

Для получения максимальной эффективности работы на РЗМ с точки зрения ПРЗ предпочтение отдается:

- гусеничному шасси с большими габаритами, грузоподъемностью и расположением оператора на продольной оси машины ближе к середине шасси, что обеспечивает возможность получения требуемого уровня защиты при минимальной массе ПРЗ;

- колесному шасси с классической капотной компоновочной схемой (расположение оператора за двигателем), активным приводом ведущего моста, снижением скорости движения и массы перевозимого груза в соответствии с массой ПРЗ, что обеспечивает возможность установки необходимой (в том числе максимальной, при прочих равных условиях с другими схемами) массы ПРЗ, исходя из допустимой загрузки (перегрузки) переднего моста.

#### **2.4.2. Расчет ПРЗ узлами машины (показано в третьей главе)**

В настоящее время основная оценка защиты от ионизирующих излучений обычно производится по плоскому круговому поверхностному моноэнергетическому источнику, расположенному на грунте [41, 58, 59]. Доза излучения, создаваемая таким источником, за защитным экраном однозначно определяется изотропным составом радиоактивного вещества, размерами источника, расстоянием от источника до точек замера, а также материалом и габаритно-массовыми параметрами защитного экрана. Полученные результаты можно применять и для источников сложного спектрального состава, рассматривая этот источник как суперпозицию моноэнергетических источников.

##### **2.4.2.1. Определяем уровень ПРЗ защитного экрана шасси и рабочего оборудования (при наличии)**

В защите оператора КГМ от источников излучения РЗМ непосредственно участвуют металлоемкие узлы и агрегаты базовой машины: шасси и рабочее оборудование. Вклад каждого узла в защиту определяется его размерами, массой, материалом из которых он изготовлен и расположением этого узла относительно рабочего места оператора (расчетных точек).

Предлагается при оценке ПРЗ узлами шасси вместо рассмотрения всех основных металлоемких узлов шасси машин, как было в предыдущих методиках (по ГОСТ В 26457 [59] рассматривалось до 300 шт. элементов шасси и более) рассматривать две укрупненные модели защиты (рис. 3.1):

- типа «автомобиль», для грузовых автомобилей и техники на их базе (практически из основных металлоемких узлов большой площади и толщины только двигатель и КПП обеспечивают ПРЗ оператора снизу);
- типа «трактор», для инженерных машин на базе тракторов и погрузчиков (практически все узлы моторно-трансмиссионной установки обеспечивают ПРЗ оператора снизу);



Рабочее оборудование (при его наличии) рассматривается по модели типа «отвал», расположенной соответственно установке такого оборудования на машине – спереди, сзади или сбоку от оператора.

Для оценки уровня ПРЗ оператора узлами шасси и рабочего оборудования производятся следующие расчеты (отдельно для шасси и каждого вида оборудования) от излучения грунта РЗМ (при расчетах по ГОСТ от кругового поля ионизирующего излучения):

- расчет дозы излучения от не перекрытой зоны излучения;
- расчет дозы излучения от зоны, перекрытой защитным экраном шасси и рабочего оборудования;
- расчет кратности ослабления дозы излучения защитным экраном шасси и рабочего оборудования.

Предлагаемая формализация основных параметров поля ГИ на грунте и моделей защиты узлами шасси и рабочим оборудованием, расчет ПРЗ этими узлами подробно показаны в разделах 3.1...3.4.

#### **2.4.2.2. Оценка ПРЗ стенками кабины**

1. Рассчитываем допустимый диапазон значений массы кабины по грузоподъемности базового шасси для всех расчетных случаев технологического цикла, выполняемого на радиоактивно зараженной территории.

2. Находим внутренний объем кабины с учетом посадки оператора по соответствующим ГОСТам для КГМ и размещения внутреннего оборудования.

3. Определяем возможные толщины стенок кабины из однородного ПРМ. При применении нескольких материалов или стенок разной толщины необходимо провести соответствующий уточняющий расчет.

Для крыши кабины рекомендуется уменьшение толщины по сравнению с толщиной стенки с основным уровнем защиты на 30 %, так как вероятность попадания излучения по нормали к крыше маловероятна.

Уменьшение толщины крыши – снижает также возможное отражение попавшего внутрь кабины излучения от внутренней поверхности крыши.

Для колесной машины, перевозящей радиоактивный груз, необходима соответствующая толщина задней стенки кабины с учетом защиты от излучений груза.

4. По толщине стенок определяется ПРЗ оператора стенками кабины от излучения.

Особенности расчета ПРЗ стенками кабины подробно изложены в разделе 3.5.

**2.4.2.3. Общий уровень защиты оператора КГМ от ионизирующих излучений** определяется соответствующими значениями ПРЗ узлами шасси, рабочего оборудования и кабины путем перемножения соответствующих коэффициентов ослабления дозы излучения.

При этом общий уровень излучения, полученный оператором, не должен превышать ПДД.

Алгоритм проектирования и расчета защиты от радиоактивных излучений для КГМ показан на рис. 2.4.

#### **2.4.3. Алгоритм определения оптимальных и рациональных технических параметров машины при установке защиты**

Для получения максимальной производительности КГМ с ПРЗ, необходимо учитывать и при необходимости изменять ряд основных базовых параметров машины (базового шасси) в зависимости от параметров установленной на машину ПРЗ, прежде всего от массы защиты и места установки кабины на шасси.

Порядок определения и выбора технических параметров машины с ПРЗ подробно расписан в четвертой главе, значения для конкретных машин на конкретной РЗМ в шестой главе.

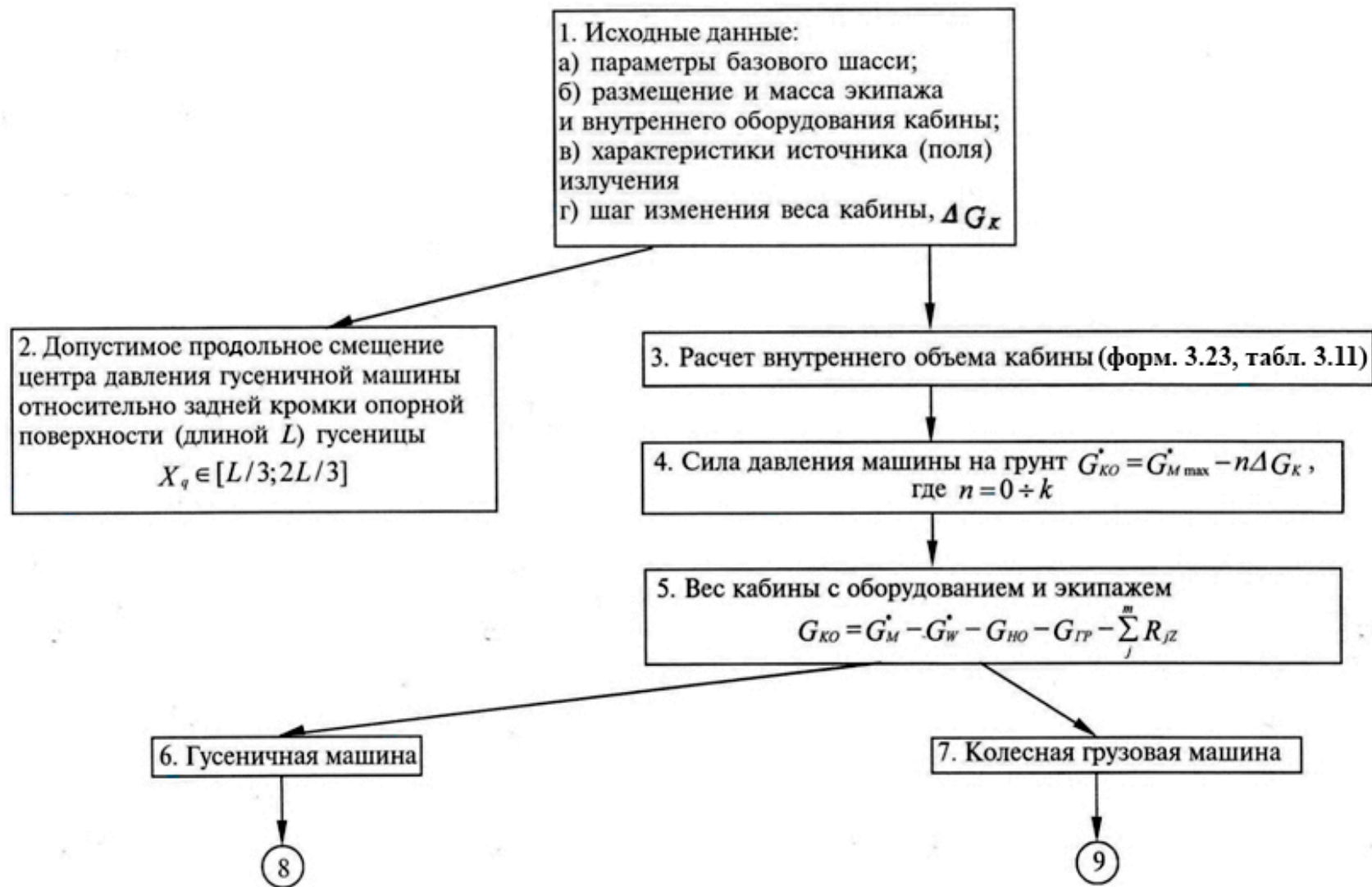


Рис. 2.4. Алгоритм проектирования и расчета ПРЗ КГМ (начало)

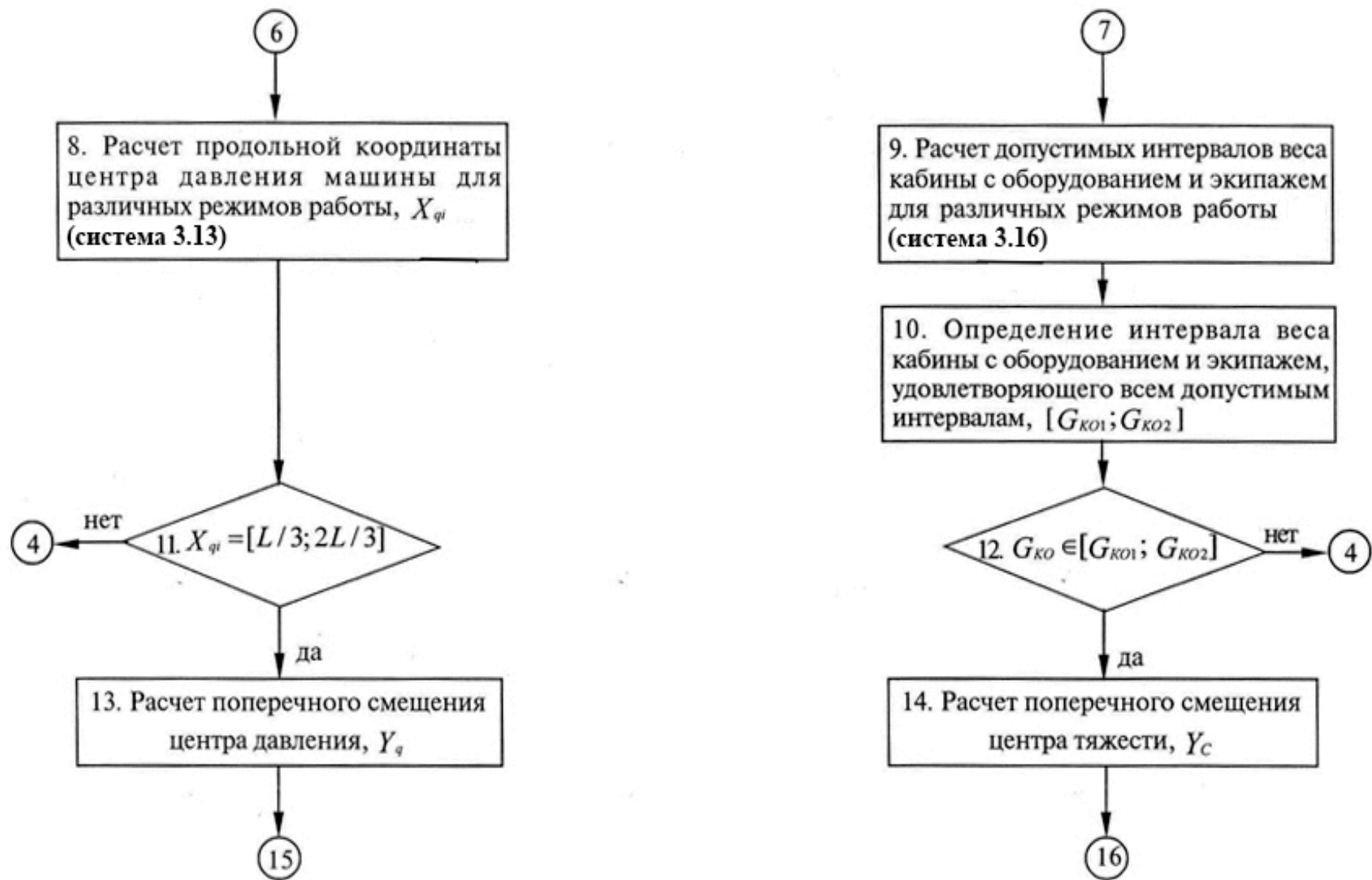


Рис. 2.4. Алгоритм проектирования и расчета ПРЗ КГМ (продолжение)

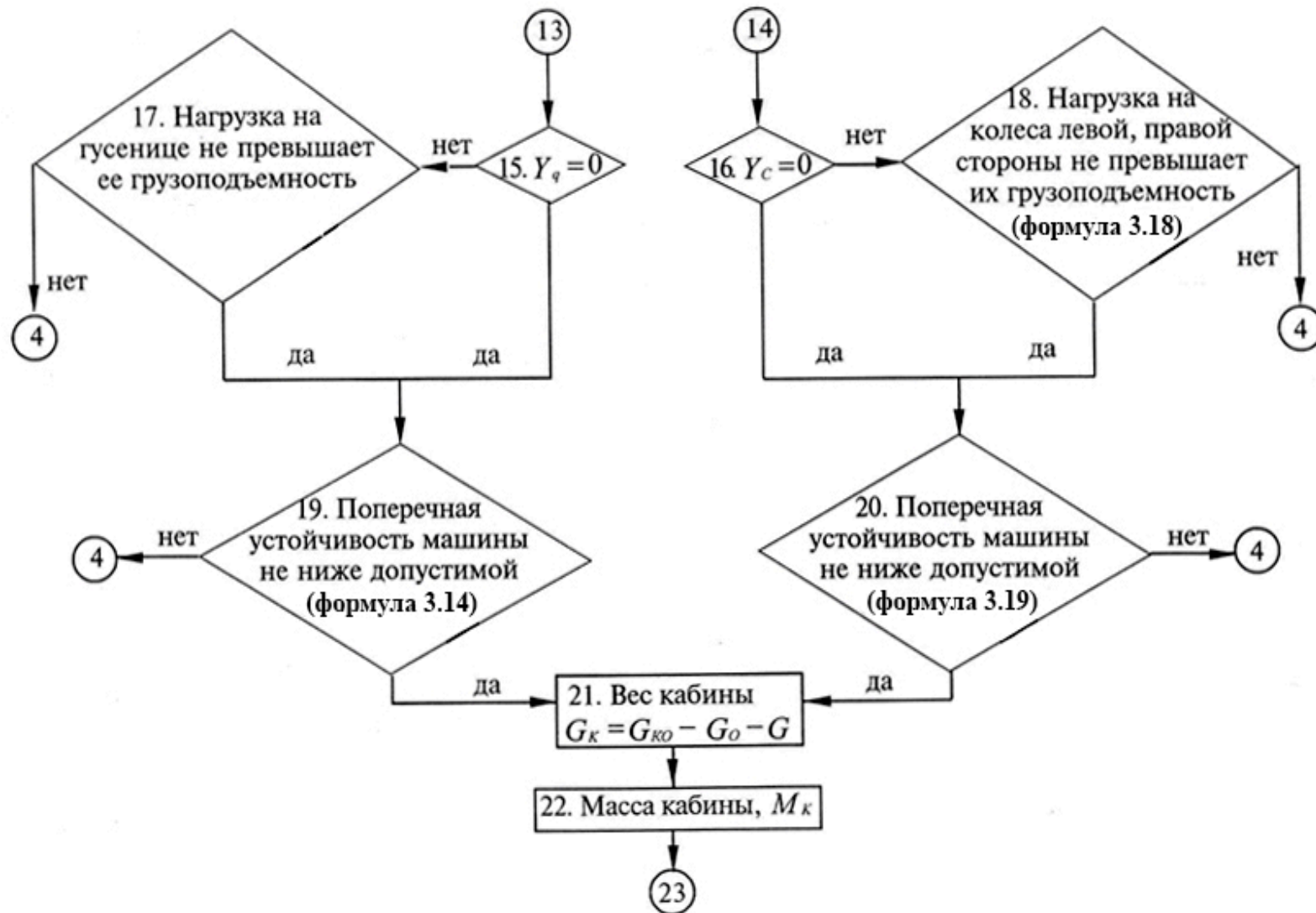


Рис. 2.4. Алгоритм проектирования и расчета ПРЗ КГМ (продолжение)

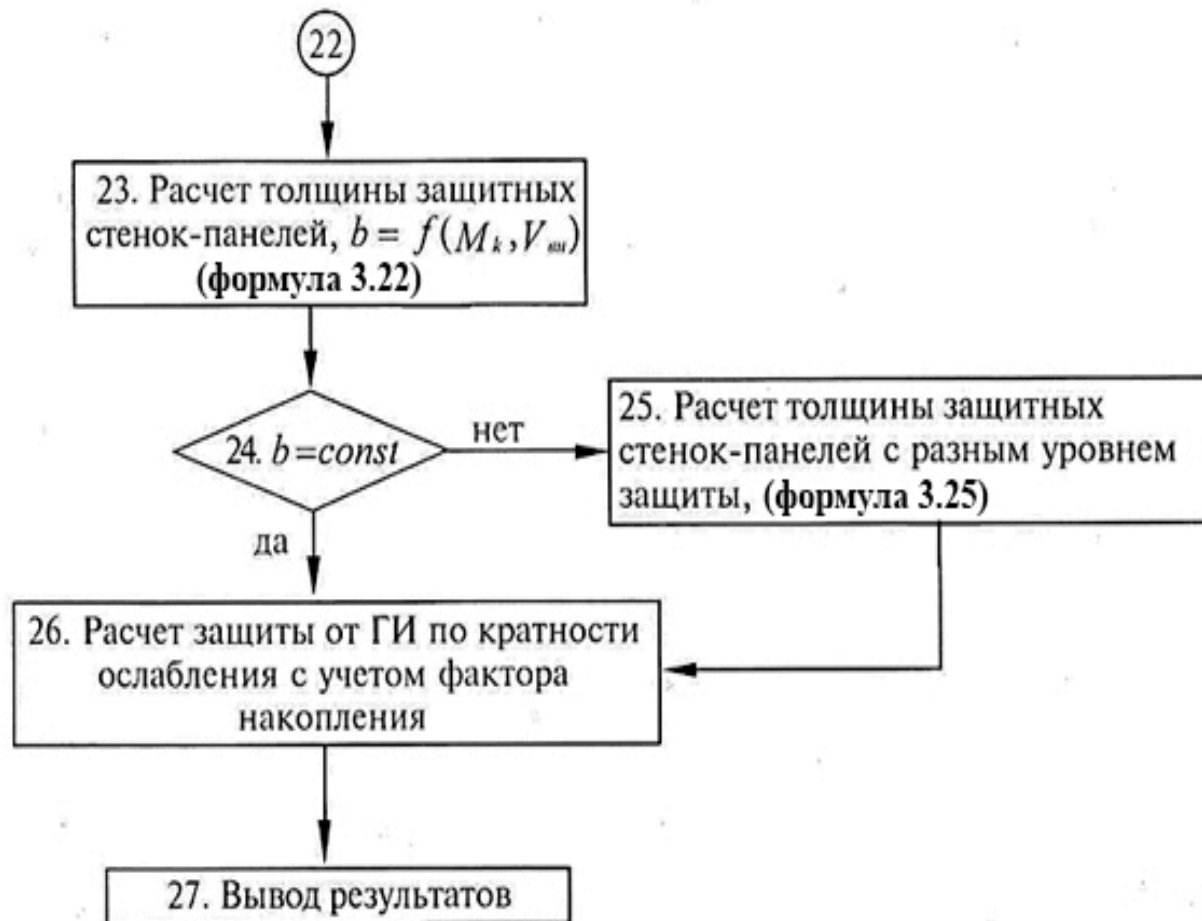


Рис. 2.4. Алгоритм проектирования и расчета ПРЗ КГМ (окончание)

### 2.4.3.1. Изменение передаточных чисел трансмиссии

Установка ПРЗ на КГМ, как правило, приводит к нежелательному смещению центра масс (ЦМ) от ЦМ базы, при этом ухудшается взаимодействие движителя с грунтом (снижаются сцепные качества, тяговый КПД, растет сопротивление движению). Для определения характера кривой буксования КГМ в случае преднамеренного, конструктивно заложенного смещения ЦМ (полюса давления) из-за установки ПРЗ предлагается использовать уточненные аналитические зависимости и соответствующие им коэффициенты аппроксимации.

С целью ликвидации существенного снижения максимума функции относительного тягового усилия при увеличении смещения ЦМ и *для увеличения тягового КПД КГМ с ПРЗ предлагается соответствующее влиянию ПРЗ увеличение передаточного числа трансмиссии (и при необходимости мощности двигателя) до получения оптимального (максимального) удельного тягового усилия машины.*

В качестве примера, в разделе 6.2 для конкретных БА и БРА с различными типами трансмиссий показаны предложения по получению известных оптимальных удельных тяговых усилий агрегата, обеспечивающих его максимальную производительность на грунтах различной плотности [134, 196], которые составляют:

– для агрегатов с механической ступенчатой трансмиссией (МСТ + дизель), типа Б10.01:

$$\varphi_{Конм} = 0,7 \text{ – грунты II и III категории, } \varphi_{Конм} = 0,64 \text{ – грунт I категории;}$$

– для агрегатов с гидромеханической трансмиссией и дизелем (ГМТ + дизель), типа Б10.00:

$$\varphi_{Конм} = 0,48 \dots 0,81 \text{ – грунты II и III категории;}$$

$$\varphi_{Конм} = 0,39 \dots 0,66 \text{ – грунт I категории;}$$

– для агрегатов с электромеханической трансмиссией и дизелем (ЭМТ + дизель), типа ДЭТ - 250 / - 320 / - 400 при одной рабочей передаче:

$$\varphi_{Конм} = 0,41 \dots 0,81.$$

#### **2.4.3.2. Изменения по рабочему оборудованию**

У машины с ПРЗ (по сравнению с соответствующими базовыми КГМ) существенно меняется ряд основных параметров. Например, в первую очередь растет масса, что при соответствующем изменении передаточного числа трансмиссии (и при необходимой мощности двигателя) приведет к росту тяги. При этом у БА и БРА возможно дальнейшее повышение производительности при соответствующем увеличении емкости отвала.

Выбор параметров бульдозерного оборудования в зависимости от массы базового трактора с ПРЗ приведен в разделах 4.4 и 6.4.

**2.4.3.3. Проведение тяговых, прочностных и других расчетов, прежде всего по узлам трансмиссии, несущей и ходовой системам.** В том числе, по предложенной математической модели прямолинейного движения БРА (раздел 4.5), прогнозирующей динамические процессы бульдозера в условиях эксплуатации и позволяющей определять уровни напряженности в наиболее нагруженных зонах на начальном этапе проектирования.

**2.4.3.4. Оценка эффективности полученной КГМ с ПРЗ по критерию «эффект-затраты»,** максимальная эффективность выполнения заданных работ исходя из минимальных суммарных затрат (раздел 4.8, расчет для конкретных КГМ – раздел 6.8).

**2.4.3.5.** Таким образом, задача проектирования КГМ с ПРЗ с получением максимальной эффективности конкретной машины на конкретной РЗМ сводится к оптимизации изменяемых (var), зависящих от ПРЗ, параметров (выбора рациональных (близких к оптимальным) при невозможности установки на реальной конкретной машине оптимальных параметров), путем:

– определения допустимого интервала массы защиты для конкретной КГМ по грузоподъемности (раздел 3.5.1);



– определения минимального значения (по критерию «эффект – затраты») затрат на защиту и стоимость операторов при выполнении заданного стандартами безопасности по ПДД уровня защиты на конкретной РЗМ, в допустимом интервале значений массы ПРЗ (*единственное минимальное значение для конкретной КГМ*, раздел 2.4.3.1, формула 2.5, рис. 2.3, раздел 6.8, таблица 6.6);

– получения максимальной производительности машины за счет изменения конструкции и ряда базовых параметров в соответствии с установленной ПРЗ (раздел 4.3, формулы 4.1...4.9, с учетом влияния массы ПРЗ, в т.ч. смещения ЦМ (ЦД) на тягу – рис. 4.6 *локальный максимум внутри промежутка  $0 \leq \varphi \leq \varphi_{max}$* ):

– компоновки, в том числе места установки кабины (разделы 2.4, 4.1, 4.3, 6.1, 6.3 и др.),

– передаточных чисел трансмиссии (*оптимальные значения по тяге  $\varphi_K$  для бульдозеров в зависимости от типа трансмиссии и класса грунта* – разделы 2.4.3.1, 6.2 значения  $\varphi_{Комп}$ ),

– размеров рабочего оборудования (разделы 4.4, 6.4, рис. 4.7...4.9, масса, емкость, габаритные размеры – *единственный параметр в зависимости от массы машины с защитой*) и других параметров и характеристик;

– проверки технической работоспособности машины с увеличенной массой (из-за массы ПРЗ), проведение прочностных, тягово-скоростных и других расчетов (разделы 4.5 и 6.5);

– применения предлагаемых в диссертации рекомендаций, конструкций защиты и машины в целом (глава 6).

Следовательно, *решение задачи оптимизации параметров машины для работы на радиоактивно зараженной местности по критерию эффективность предлагается свести к оптимизации ряда основных базовых параметров и характеристик машины относительно*

*рациональной массы ПРЗ отдельными процедурами (этапами), обеспечивающими решение задачи в целом.*

Примеры оценки вклада каждого из этапов расчета, выбора и изменения параметров машины в эффективность конкретных КГМ на конкретной РЗМ приведены в разделе 6.9.

Использование предложенной методики на ранней стадии проектирования позволяет:

- выбирать основные параметры машины для работы на РЗМ с наиболее полным выполнением требований заказчика (в том числе по максимальной эффективности) исходя из базовых параметров и компоновки базового шасси;
- определять максимально возможный уровень ПРЗ оператора для конкретных колесных и гусеничных машин;
- оценивать взаимное влияние ПРЗ оператора на основные параметры машины.

## **2.5. ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ**

1. Разработаны основные положения методологии проектирования КГМ для работы на РЗМ, отличающейся рассмотрением ПРЗ как подсистемы машины в общей системе «радиоактивно зараженная местность – машина – оператор», что существенно меняет требования к такой технике, ее параметрам и конструкции.

2. Разработаны положения технико-экономической оценки машины с ПРЗ, согласно которым полная эффективность КГМ определяется путем сложения вклада ПРЗ и влияния измененных характеристик машины на техническую производительность и затраты. Чем больше уровень ПРЗ на машине, тем более сильное влияние эта защита оказывает на технические характеристики и параметры машины.

3. Разработан алгоритм оценки эффективности работы КГМ на РЗМ, позволяющий проектировать новые машины с ПРЗ по критерию максимальной эффективности. При этом эффективность оценивается следующими критериями:

- техническая производительность, зависящая от параметров КГМ (в том числе ПРЗ) и условий местности;

- время работы машины на РЗМ (определяемое параметрами РЗМ, ПРЗ и машины в целом) включая чистое время работы машины, количество работающих операторов, время ввода и вывода машины из зоны работ (повышенного излучения);

- приведенные затраты на единицу выполненной работы включающие неизменные (условно не зависящие от ПРЗ) затраты на создание и эксплуатацию базового шасси (под обычную кабину) и переменные затраты на оператора и создание защитного экрана ПРЗ.

Решение задач определения параметров машины для работы на РЗМ для получения максимальной эффективности предлагается свести к изменению ряда базовых параметров машины относительно рациональной массы ПРЗ отдельными процедурами (этапами), обеспечивающими решение этих задач в целом.

4. Разработана общая методика проектирования КГМ для работы на РЗМ, позволяющая рассчитать величину необходимой ПРЗ (в том числе предельно допустимой) для каждой конкретной машины, исходя из ее основных параметров и компоновки, а также оценить влияние ПРЗ на другие технические характеристики машины.

5. Разработана экспресс-методика оценки влияния узлов машины на ПРЗ оператора при минимуме исходных данных.

Предлагается при оценке ПРЗ узлами шасси вместо рассмотрения всех основных металлоемких узлов шасси машин, как было в предыдущих методиках (до 300 шт. элементов шасси и более) рассматривать две

условные укрупненные модели защиты, расположенные под оператором: типа «автомобиль»; типа «трактор».

Рабочее оборудование (при его наличии) рассматривается по укрупненной модели типа «отвал», расположенной относительно оператора соответственно установке такого оборудования на машине спереди, сзади или сбоку от оператора.

6. Задача проектирования КГМ с ПРЗ с максимальной эффективностью работы на конкретной заданной радиоактивно зараженной территории решается путем:

- определения допустимого интервала массы защиты для конкретной КГМ;

- определения минимального значения затрат на защиту и стоимости операторов при выполнении заданного стандартами безопасности по ПДД уровня защиты на конкретной РЗМ, в допустимом интервале значений массы ПРЗ;

- получения максимальной производительности и эффективности машины с ПРЗ, за счет изменения ряда базовых параметров в соответствии с установленной массой ПРЗ (изменения ряда параметров базового шасси, места установки кабины, передаточных чисел трансмиссии, размеров рабочего оборудования и других);

- проверки технической работоспособности машины с увеличенной массой (из-за массы ПРЗ), проведение прочностных, тягово-скоростных и других расчетов;

- применения предлагаемых в диссертации рекомендаций, конструкций защиты и машины в целом.

### **ГЛАВА 3. ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШАССИ, РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ, КАБИНЫ И УРОВНЯ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ**

Помимо самой защитной кабины, узлы и детали шасси и рабочего оборудования влияют на уровень защиты оператора (ряда соответствующего оборудования, например электронного оборудования, также нуждающегося в ПРЗ при сравнительно высоких уровнях внешнего ГИ) от радиации. В первую очередь такую защиту от ГИ обеспечивают габаритные (по длине и ширине) и толстые металлические узлы и детали, попавшие между ходом радиоактивных лучей и оператором (расчетными точками).

Существуют различные методики расчета, определяющие уровень такой защиты (ГОСТ В 26457 и др.) [59, 130, 153, 216, 237]. Для использования этих методик в качестве исходных данных, кроме параметров поля излучения на местности (места расположения и размеров поля ГИ, энергии и мощности источника излучения), места расположения оператора, необходимо знать расположение всех основных металлоемких узлов и деталей машины, т.е. необходима ее подробная компоновочная схема.

Однако на практике (особенно на начальном этапе проектирования) часто бывает необходимо рассчитать ослабление радиоактивного излучения узлами машины, не имея конкретных данных по расположению и габаритно-массовым параметрам ее составных конструктивных элементов.

Рассмотрим предлагаемые автором методики расчета ПРЗ оператора (узлов электронного оборудования) в расчетных точках от ГИ местности узлами машины при минимуме исходных данных.

### 3.1. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ОПЕРАТОРА УЗЛАМИ ШАССИ

Исходные данные для предлагаемой методики: характеристики поля излучения; координаты места расположения оператора (расчетных точек) относительно шасси; габаритно-массовые характеристики двигателя и КПП (для автомобиля) или шасси (для трактора).

Указанные значения задаются в тактико-технических требованиях на машину, могут также выбираться по серийному базовому шасси или шасси аналогу.

Предлагается при оценке ПРЗ узлами шасси все основные металлоемкие узлы шасси машин (при расчете по ГОСТ В 26457 [59] рассматривалось до 300 шт. и более) заменить двумя условными укрупненными моделями шасси КГМ [64, 65, 86]:

– типа «автомобиль», для грузовых автомобилей и техники на их базе (практически из основных металлоемких узлов большой площади только двигатель и КПП обеспечивают ПРЗ оператора снизу);

– типа «трактор», для инженерных машин на базе тракторов и погрузчиков (практически все узлы трансмиссии обеспечивают ПРЗ оператора снизу).

При разработке методики приняты следующие допущения:

1. Поле ГИ на грунте считаем бесконечно тонким диском с равномерным распределением радиоактивного источника – с постоянным значением поверхностной плотности активности  $\sigma$ .

2. ГИ – моноэнергетическое.

3. Модель защитного экрана ПРЗ шасси устанавливается параллельно грунту и представляет:

– для машин типа «автомобиль» два стальных параллелепипеда с размерами по длине и ширине, равными размерам соответствующих узлов (двигателя и коробки передач с муфтой сцепления), с толщиной,

приведенной к размерам соответствующего экрана, массе узла, с положением центра тяжести, совпадающим с центром тяжести узла.

– для машин типа «гусеничного трактора» стальной параллелепипед с размерами по длине и ширине, равными соответствующим размерам самого шасси, с толщиной, приведенной к размерам шасси его массе, с положением центра тяжести, совпадающим с центром шасси (расстояние от центра тяжести до грунта обычно составляет от 530 до 650мм, с большим значением для более тяжелых машин, у которых больше клиренс).

4. Проекция точек «А» и «Б» (соответственно уровень головы и живота оператора) находятся на оси в центре поля излучения.

5. Проекция защитного экрана на грунт от лучей из расчетных точек через края экрана должна находиться внутри диска поля излучения.

6. Теоретическую толщину защитного экрана шасси можно определить по уравнению:

$$b_w = \frac{M_w}{\rho_w L_w B_w} ,$$

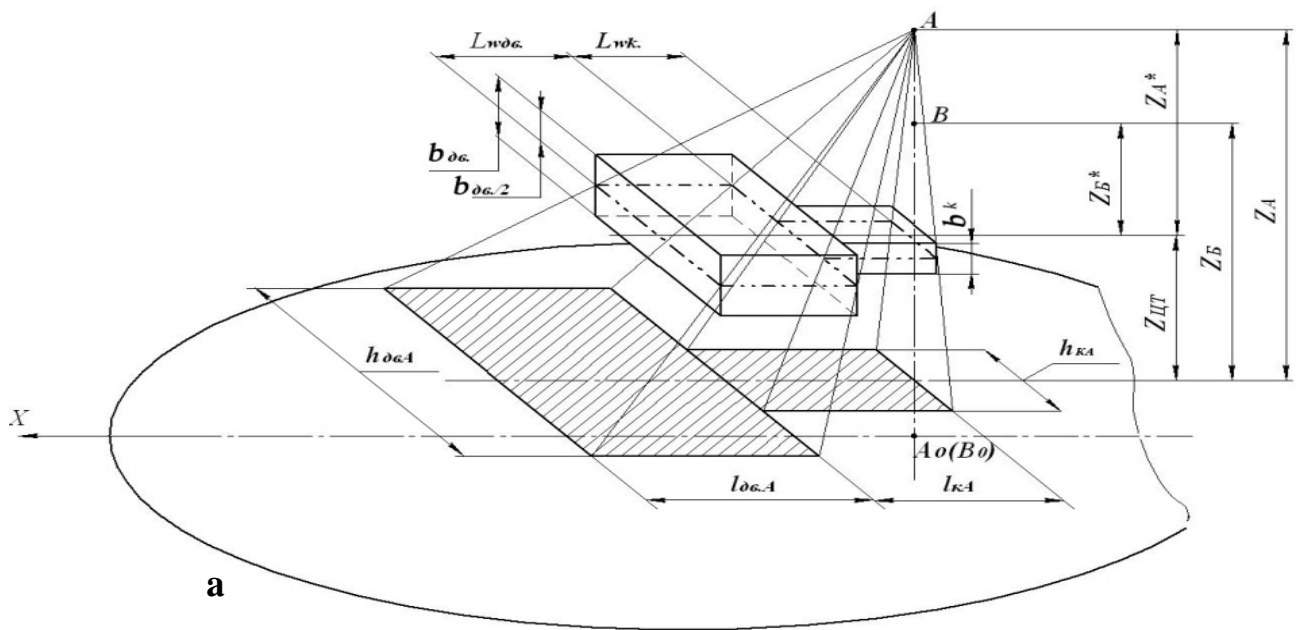
где  $M_w$  – масса узла шасси;

$L$  и  $B$  – соответствующие габаритные размеры узла шасси;

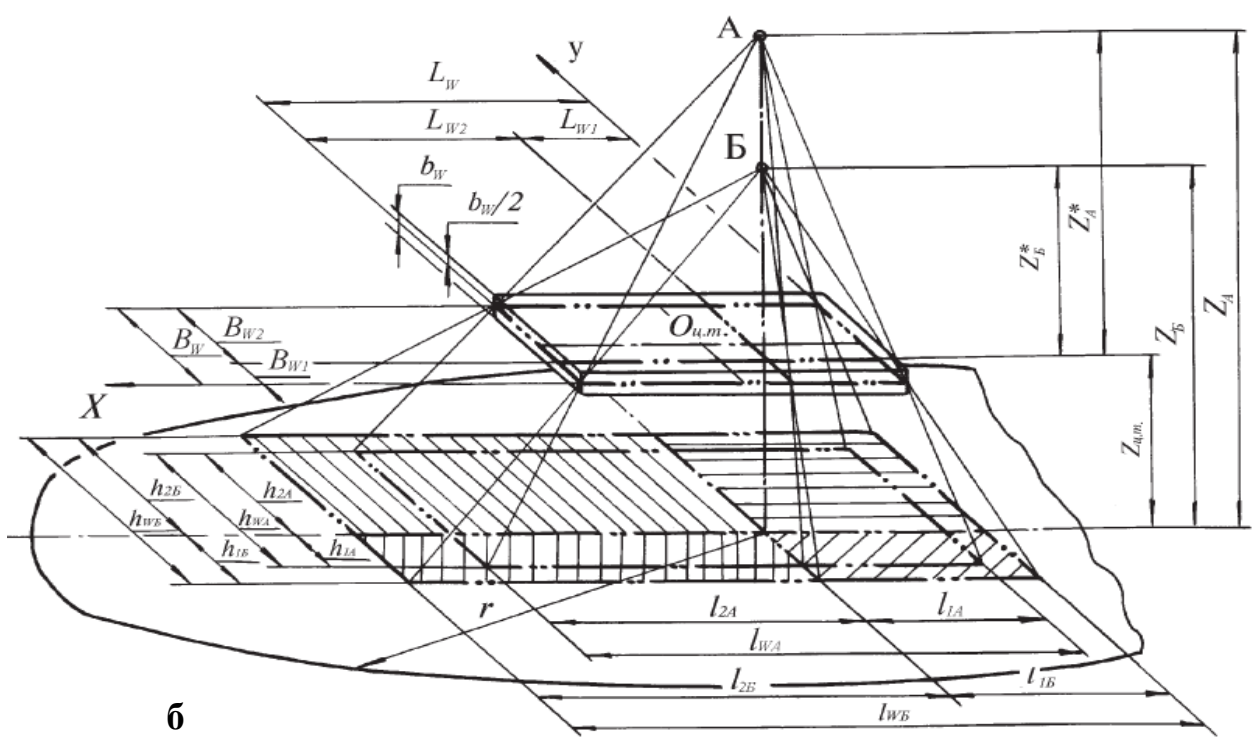
$\rho_w = 7,85 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> – плотность стали (материала защитного экрана шасси).

Предлагаемая формализация основных параметров поля ГИ на грунте и моделей защиты узлами шасси показана на рис. 3.1.

Как видно из рис. 3.1, мощность дозы ГИ в расчетной точке определяется излучением, проходящим из двух условно выделенных зон РЗМ – не перекрытой (незаштрихованной зоны) и перекрытой (заштрихованной зоны) шасси.



**а**



**б**

**Рис. 3.1.** Схема к расчету влияния шасси на уровень защиты оператора от ГИ грунта:

*а* – шасси типа «автомобиль»;

*б* – шасси типа «трактор», с разбивкой на четыре прямоугольные зоны, с проекцией расчетной точки на один из углов прямоугольной зоны;

$L_w, B_w, b_w$  – габаритные параметры защитного экрана;  $Z$  – соответствующие расстояния по высоте до расчетных точек ( $Z_A, Z_B$ ) или центра тяжести защитного экрана  $Z_{цт}$ ;  $r$  – радиус диска излучения;  $h, l$  – соответствующие размеры зоны РЗМ, перекрытой шасси, для заданных расчетных точек.



Тогда кратность ослабления излучения, находящегося на грунте источника, узлами шасси в расчетной точке определяется по предлагаемой автором формуле:

$$K_w = \frac{P_0}{(P_0 - P_1) + P_2}, \quad (3.1)$$

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.

Рассмотрим подробнее зависимость влияния шасси на уровень защиты оператора от ГИ при нахождении поля излучения на грунте, от формы и размеров источника, а также параметров защитного экрана, используя работы [63, 65, 76, 88].

#### **Мощность дозы ГИ в точке А (Б) при круговом распределении излучения**

$$P_{0i} = \pi P_\gamma \sigma \ln \frac{r^2 + z_i^2}{z_i^2}, \quad (3.2)$$

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

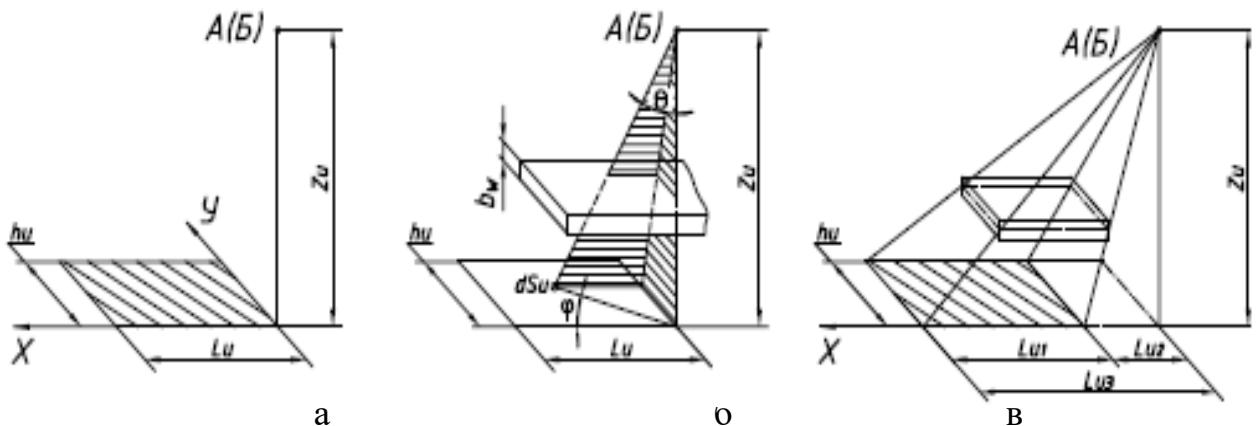
В теоретических расчетах мощности дозы ГИ в расчетных точках машины любое бесконечное поле излучения можно представить в виде излучающего диска радиусом 300 метров (с которого снимается более 90% мощности дозы излучения бесконечного поля) [46].

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 [229]. С учетом этого расчет по формуле (3.2) показывает, что *мощности дозы реальной РЗМ с*

*излучающего диска радиусом 300 метров (бесконечное поле излучения) на рабочем месте оператора соответствует теоретическая доза излучения, полученная с диска радиусом около 20 метров.*

### Мощность дозы ГИ в точке А (Б) из зоны, перекрытой шасси

Для возможности расчета ПРЗ узлами шасси рассмотрим разделение проекции защитного экрана шасси на грунте на прямоугольные зоны у которых проекция расчетной точки совпадает с одним из углов прямоугольника, как показано на рис. 3.1 б (деление на зоны) и 3.2. При этом по правилу аддитивности мощность дозы равна сумме мощностей доз всех ее составных частей.



**Рис. 3.2.** Схемы к расчету мощности дозы ГИ в точке А (Б):

**а** – от плоского прямоугольного источника;

**б** – от прямоугольного источника за защитным экраном;

**в** – пример деления площади излучения на прямоугольники с вершиной, совпадающей с проекцией расчетной точки ( $S_1 = S_3 - S_2$ ).

Мощность дозы ГИ, создаваемая прямоугольным источником в случае, показанном на рис.3.2а:

$$P = P_{\gamma} \sigma \left\{ \int_0^n \frac{m}{\sqrt{1 + \psi^2 m}} \operatorname{arctg} \frac{m}{\sqrt{1 + \psi^2 m^2}} d\psi \right\} = P_{\gamma} \sigma \Phi(m, n), \quad (3.3)$$

где  $n = h_u / l_u = B_{wi} / L_{wi}$  – относительные размеры источника;

$l/m = z_u / u, \psi = y / l_u$  – относительные расстояния до заданной расчетной точки.

Интеграл в формуле (3.3) в элементарных функциях не выражается, в связи с чем, необходимо численное интегрирование.

Формула (3.3) позволяет находить мощность дозы ГИ в случае, показанном на рис. 3.2а, когда проекция расчетной точки совпадает с вершиной одного из углов прямоугольника. Для вычисления мощности дозы ГИ из зоны, когда проекция точки А (Б) не совпадает с какой-либо из вершин прямоугольника, можно воспользоваться правилом аддитивности, разбив всю зону на прямоугольники с вершиной в проекции расчетной точки. Тогда мощность дозы будет равна сумме мощностей доз из всех таких прямоугольников (рассчитанных по формуле 3.3) составляющих зону (например, на рис. 3.1б видно, что таких прямоугольников четыре).

**Мощность дозы ГИ из зоны, перекрытой шасси,  
в точке А (Б) за защитным экраном толщиной  $b_w$ .**

Выражение мощности дозы ГИ в случае, показанном на рис. 3.1б, с учетом дозового фактора накопления  $B_\delta^q$  :

$$P = P_\gamma \sigma B_\delta^q \left\{ \int_0^{\text{arctg } n} d\varphi \int_0^{\text{arctg}(m \sec \varphi)} \text{tg} \theta e^{-\mu b_w \sec \theta} d\theta + \right. \\ \left. + \int_{\text{arctg } n}^{\pi/2} d\varphi \int_0^{\text{arctg}(m n \text{ cosec } \varphi)} \text{tg} \theta e^{-\mu b_w \sec \theta} d\theta \right\} \quad (3.4)$$

Выполняя в выражении (3.4) интегрирование по  $\Theta$  и используя интегрально-показательную функцию  $E_i$ , получим:

$$P = P_\gamma \sigma B_\delta^q \left\{ \frac{\pi}{2} [-E_i(-\mu b_w)] - \int_0^{\text{arctg } n} [-E_i(-\mu b_w \sqrt{1+m^2 \sec^2 \varphi})] d\varphi - \right. \\ \left. - \int_{\text{arctg } n}^{\pi/2} [-E_i(-\mu b_w \sqrt{1+m^2 n^2 \text{ cosec}^2 \varphi})] d\varphi \right\} = P_\gamma \sigma B_\delta^q \Phi(m; n; \mu b_w) \quad (3.5)$$

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

$$P_{2i} = P_{\gamma} \sigma B_{\delta}^q \sum_{j=1}^k \Phi_{ij}(m_{ij}; n_j; \mu b_w) \quad (3.6)$$

В выражении (3.6) все слагаемые находятся по формуле (3.5), поскольку правило аддитивности позволяет свести рассматриваемый случай (рис. 3.1) к последующему (рис. 3.2б).

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

На основании схемы расчета (рис. 3.1) и формул (3.1 – 3.6) получаем следующее уравнение определения кратности ослабления дозы ГИ узлами шасси:

$$K_w = \frac{\pi \ln \frac{r^2 + z_i^2}{z_i^2}}{\pi \ln \frac{r^2 + z_i^2}{z_i^2} - \sum_{j=1}^k \Phi_{ij}(m_{ij}; n_{ij}) + B_{\delta}^q \sum_{j=1}^k \Phi_{ij}(m_{ij}; n_{ij}; \mu b_w)} \quad (3.7)$$

## **3.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШАССИ НА ПРОТИВОРАДИАЦИОННУЮ ЗАЩИТУ**

*Формула (3.7) позволяет изучать влияние того или иного параметра шасси машины на уровень защиты оператора.*

Рассмотрим три основных фактора, наиболее сильно влияющих на ПРЗ оператора, обеспечиваемую защитным экраном шасси. К этим факторам относятся:

- а) расположение оператора (кабины) на шасси;
- б) габаритно-массовые параметры и расположение металлоемких узлов шасси;

б) параметры поля РЗМ (мощность и энергия излучения, расположение источников ГИ).

При авариях на АЭС обычно  $E_{\gamma} \leq 2$  МэВ (для ЧАЭС расчет с запасом обычно велся на 1,25 МэВ) эти значения энергии излучения и рассматривались далее в расчетах (исходя из вероятных условий ГИ РЗМ) [41, 210].

В таблицах 3.1, 3.2 показаны исходные данные и результаты расчета (по формуле (3.7) оценки влияния узлов шасси на ПРЗ оператора от поля ГИ РЗМ, в том числе от места расположения оператора относительно шасси машины:

– типа «автомобиль» (на примере грузового автомобиля Урал-4320), таблица 3.1;

– типа «трактор» (на примере тракторов класса 10 Т10 (Т-170) и класса 25 ДЭТ-250М2), таблица 3.2.

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 – условно бесконечное поле излучения (с учетом пояснений к формуле (3.2) – расчет теоретической дозы с поля ГИ РЗМ радиусом 20м).

### **3.2.1. Шасси колесной грузовой машины**

Вычисленные по формуле (3.7) значения кратностей ослабления излучения защитным экраном шасси автомобиля Урал-4320 для различных вариантов размещения оператора приведены в табл. 3.1 и на рис. 3.3.

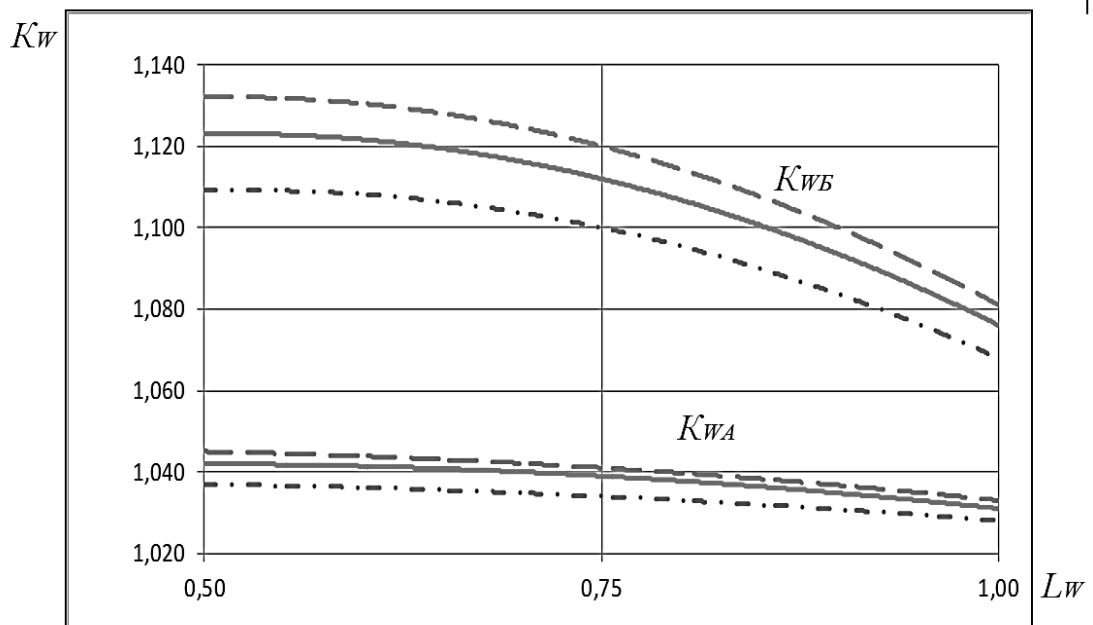
Из данных табл. 3.1 и кривых кратностей ослабления излучения (рис. 3.3) видно, что при удалении места расположения оператора (кабины) от середины защитного экрана шасси уровень защиты падает, причем, чем ближе к краю шасси, тем значительнее.

**Таблица 3.1**

Расчетная оценка влияния шасси автомобиля «Урал-4320» на ПРЗ оператора от ГИ грунта с  $E_\gamma = 0,8\text{МэВ}$ , в зависимости от расположения кабины на шасси, рис. 3.1а, формула (3.7)

Расчетные точки			Автомобиль «Урал-4320» $M_W=14800\text{кг}$ , $L_W=2\text{м}$ , $B_W=0,9\text{м}$ , $b_W=0,116\text{ м}$ , $Z_W=1,025\text{ м}$ , $Z_A=2,38\text{м}$ , $Z_B=1,78\text{м}$					
№	Координаты точек (мм)		Радиус излучающего диска (м)					
			9,75 м		12,4 м		20 м	
п/п	X	Y	$K_{WA}$	$K_{WB}$	$K_{WA}$	$K_{WB}$	$K_{WA}$	$K_{WB}$
1	$0,5L_W$	$0,5B_W$	1,045	1,132	1,042	1,123	1,037	1,109
2	$0,75L_W$	$0,5B_W$	1,041	1,120	1,039	1,112	1,034	1,100
3	$L_W$	$0,5B_W$	1,033	1,081	1,031	1,076	1,028	1,068
4	$L_W$	$B_W$	1,032	1,074	1,030	1,069	1,027	1,062
5	2000 *	500*	1,031	1,071	1,029	1,067	1,026	1,060

\* — штатное место оператора серийной машины



**Рис. 3.3.** Влияние уровня защиты оператора ( $K_W$ ) от места его расположения на шасси ( $L_W$ ) грузового автомобиля (по данным таблицы 3.1, на продольной оси машины -  $0,5B_W$ ) для разных значений радиуса ГИ РЗМ (по данным табл. 3.1).

--  $r = 9,75\text{ м}$ , —  $r = 12,4\text{ м}$ , - - -  $r = 20\text{ м}$

Расчет по формуле (3.7) показывает, что для грузовых автомобилей Урал-4320, Зил-131, ГАЗ-66 расположение оператора ближе к краю защитного экрана шасси автомобиля, по сравнению с расположением в средней части, снижает уровень его защиты, от рассмотренных источников ГИ, до 30%. Из рис. 3.1а и расчетов по формуле (3.7) видно, что при увеличении радиуса излучающего диска и энергии гамма-квантов уровень защиты оператора узлами шасси уменьшается. То же самое может происходить и на возможной реальной РЗМ с неравномерным рассредоточением источников излучения на грунте, когда находящиеся рядом с машиной источники ГИ не перекрыты узлами шасси или расположены над поверхностью грунта.

По расчету (формула 3.7), данным табл. 3.1 и рис. 3.3 видно, что на кратность ослабления излучения в расчетных точках за защитным экраном с параметрами шасси автомобиля Урал-4320 при круговом поле ГИ грунта РЗМ с размерами источника больше размеров проекции шасси на грунт (образуемой лучами, проходящими из расчетной точки через края экрана) влияние излучения из зоны, перекрытой защитным экраном, незначительно. Причина этого – малые габаритные размеры защитного экрана (длина и ширина). 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. При этом точность расчета по формуле (3.7) возрастает.

На РЗМ с  $E_{\gamma} \leq 2$  МэВ и  $r = 20$ м рациональная толщина защитного экрана шасси 2 см по стали (расчет по формуле (3.7), отношение кратности с учетом и без учета излучения, проходящего через шасси не более 0,93), при этом для заданных условий менее 7 % от общей мощности ГИ пройдет через защитный экран шасси, основное излучение проходит из зоны не перекрытой узлами шасси. Дальнейшее увеличение толщины защитного экрана незначительно увеличивает уровень защиты оператора.

Понятно, что эта толщина на реальной машине в районе ослабленных зон, где возможен прострел ГИ, определяет толщину необходимой локальной защиты, толщина которой в сумме с толщиной узлов шасси по ходу излучения ГИ должна обеспечивать защиту эквивалентную 2 см стали.

Очевидно, что все основные выводы по защите оператора от излучений узлами шасси автомобиля «Урал-4320» имеют место и для других грузовых автомобилей, самосвалов, колесных погрузчиков и ряда других колесных машин с подобной компоновочной схемой.

### **3.2.2. Шасси гусеничного трактора**

Вычисленные по формуле (3.7) значения кратностей ослабления излучения защитным экраном шасси гусеничного промышленного трактора (БРА и других агрегатов на его базе) приведены в табл. 3.2, 3.3, 3.4 и на рис. 3.4, 3.5.

Из данных табл. 3.2 и кривых кратностей ослабления излучения (рис. 3.4) видно, что при удалении места расположения оператора (кабины) от середины защитного экрана шасси уровень защиты падает, причем, чем ближе к краю шасси, тем значительнее.

Для тракторов Т-170.61 и ДЭТ-250М2 расположение оператора ближе к краю защитного экрана шасси, по сравнению с расположением в средней части, снижает уровень его защиты, от рассмотренных источников гамма – излучения, до 50% (расчеты по формуле 3.7).

Расчеты по формуле (3.7) также показывают, что при увеличении радиуса излучающего диска и энергии гамма-квантов, уровень защиты оператора узлами шасси уменьшается (см. табл. 3.3). То же самое может происходить и на возможной реальной РЗМ с неравномерным рассредоточением источников излучения на грунте, когда находящиеся рядом с машиной источники ГИ не перекрыты узлами шасси или расположены над поверхностью грунта.



**Таблица 3.2а**

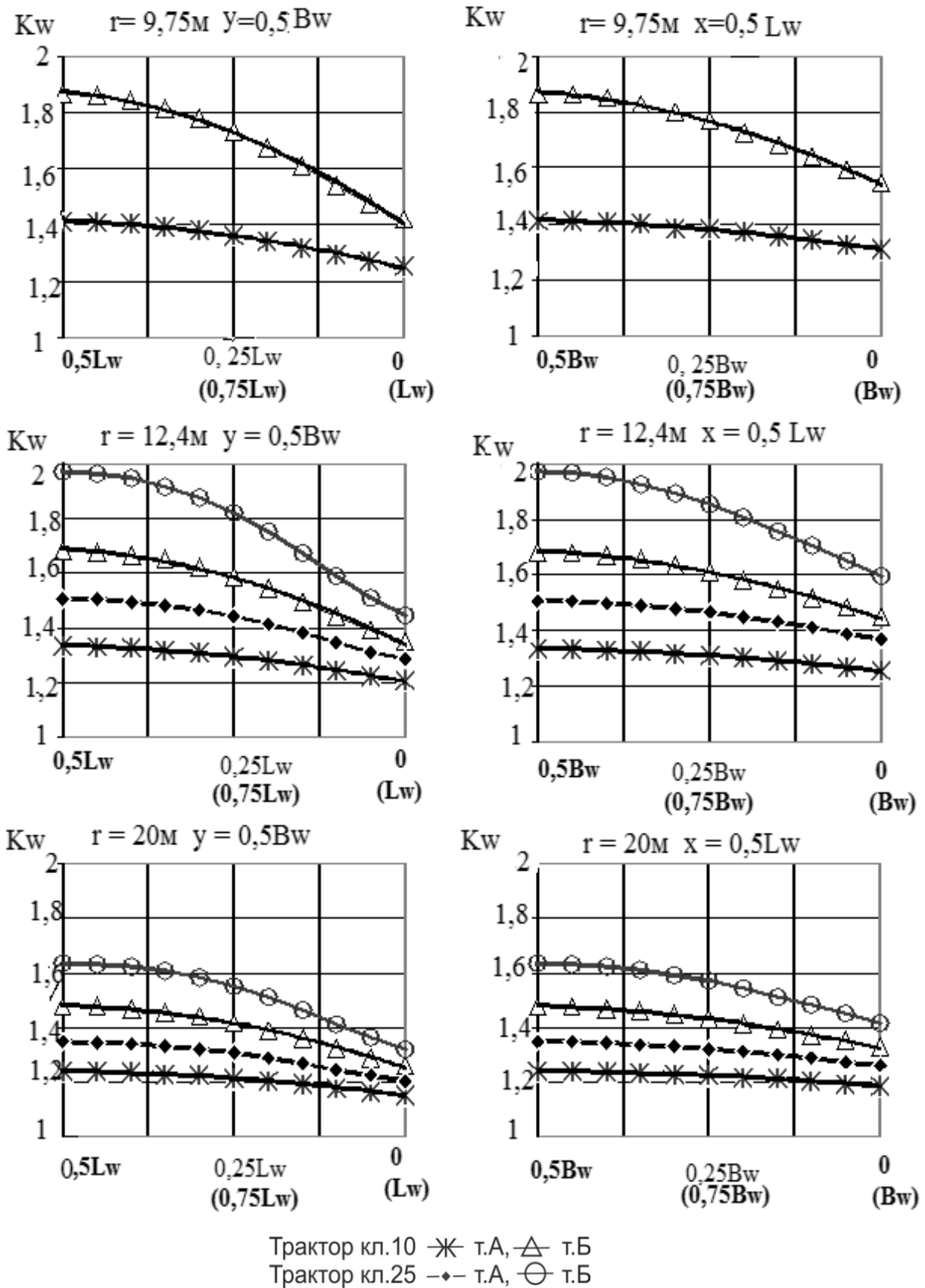
Зависимость кратности ослабления излучения оператора от расположения кабины на шасси гусеничного трактора Т-170 (класс 10),  
 $M_W=14800\text{кг}$ ,  $L_W=4,1\text{м}$ ,  $B_W=2,38\text{м}$ ,  $b_W=0,193\text{м}$ ,  $Z_W=1,025\text{м}$ ,  $Z_A=2,6\text{м}$ ,  $Z_B=2\text{м}$

№	координаты точек		Радиус излучающего диска					
			9,75 м		12,4 м		20 м	
п/п	х	у	$K_{wA}$	$K_{wB}$	$K_{wA}$	$K_{wB}$	$K_{wA}$	$K_{wB}$
1	$0,5L_W$	$0,5B_W$	1,412	1,867	1,333	1,683	1,240	1,477
2	$0,5L_W$	$0,75B_W$	1,382	1,767	1,310	1,611	1,224	1,432
3	$0,5L_W$	$B_W$	1,310	1,548	1,254	1,447	1,186	1,326
4	$0,75L_W$	$0,5B_W$	1,363	1,734	1,296	1,586	1,214	1,417
5	$0,75L_W$	$0,75B_W$	1,339	1,658	1,277	1,530	1,201	1,381
6	$0,75L_W$	$B_W$	1,279	1,481	1,229	1,396	1,169	1,292
7	$L_W$	$0,5B_W$	1,252	1,422	1,209	1,350	1,154	1,260
8	$L_W$	$0,75B_W$	1,242	1,392	1,200	1,330	1,148	1,246
9	$L_W$	$B_W$	1,215	1,332	1,178	1,279	1,132	1,210

**Таблица 3.2б**

Зависимость кратности ослабления излучения оператора от расположения кабины на шасси гусеничного трактора ДЭТ-250М2 (кл.25),  
 $M_W=29000\text{кг}$ ,  $L_W=5,639\text{м}$ ,  $B_W=3,1\text{м}$ ,  $b_W=0,211\text{м}$ ,  $Z_W=1,05\text{м}$ ,  $Z_A=2,8\text{м}$ ,  
 $Z_B=2,2\text{м}$

№	координаты точек		Радиус излучающего диска			
			12,4 м		20 м	
п/п	х	у	$K_{wA}$	$K_{wB}$	$K_{wA}$	$K_{wB}$
1	$0,5L_W$	$0,5B_W$	1,509	1,977	1,348	1,638
2	$0,5L_W$	$0,75B_W$	1,467	1,857	1,323	1,572
3	$0,5L_W$	$B_W$	1,368	1,600	1,260	1,419
4	$0,75L_W$	$0,5B_W$	1,443	1,823	1,307	1,553
5	$0,75L_W$	$0,75B_W$	1,409	1,732	1,286	1,500
6	$0,75L_W$	$B_W$	1,328	1,525	1,233	1,372
7	$L_W$	$0,5B_W$	1,287	1,447	1,206	1,322
8	$L_W$	$0,75B_W$	1,274	1,419	1,197	1,303
9	$L_W$	$B_W$	1,240	1,349	1,174	1,256



**Рис. 3.4.** Расчетная (по формуле (3.7)) кратность ослабления ГИ узлами шасси тракторов (из табл. 3.2) на рабочем месте оператора для различных значений  $L_w$  и  $B_w$  (источник ГИ на грунте,  $E_\gamma = 0,8 \text{ МэВ}$ )

**Таблица 3.3**

Расчетная оценка (по формуле 3.7) защищенности оператора, находящегося в центре защитного экрана шасси трактора Т-170.61, от энергии ГИ грунта, для различных значений радиуса излучающего диска

параметр		Энергия гамма-квантов, МэВ				
		0,8	2	4	6	8
r=5,5м	$K_{WB}$	3,265	3,252	3,236	3,228	3,224
	$K_{WB}^*$	3,271	3,271	3,271	3,271	3,271
	$K_{WB}/K_{WB}^*$	0,998	0,994	0,989	0,987	0,986
r=12,4м	$K_{WB}$	1,682	1,68	1,677	1,676	1,675
	$K_{WB}^*$	1,683	1,683	1,683	1,683	1,683
	$K_{WB}/K_{WB}^*$	0,999	0,998	0,996	0,996	0,995
r=20,0м	$K_{WB}$	1,477	1,475	1,474	1,473	1,473
	$K_{WB}^*$	1,477	1,477	1,477	1,477	1,477
	$K_{WB}/K_{WB}^*$	1,000	0,999	0,998	0,997	0,997

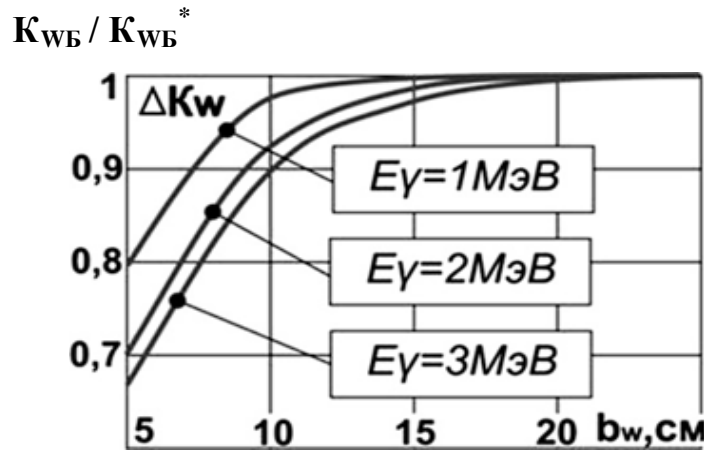
\*- без учета излучения, проходящего через шасси ( $P_{02}=0$ )

**Таблица 3.4**

Расчетная оценка (по формуле 3.7) защищенности оператора, находящегося в центре защитного экрана с габаритными размерами шасси трактора Т-170.61, от толщины экрана, для различных значений энергии гамма-квантов при радиусе излучающего диска на грунте  $r = 5,5$  м

параметр		Толщина защитного экрана шасси, см				
		5	10	15	20	25
$E_{\gamma}=1\text{МэВ}$	$K_{WB}$	2,603	3,187	3,245	3,26	3,27
	$K_{WB}^*$	3,271	3,271	3,271	3,271	3,271
	$K_{WB}/K_{WB}^*$	0,796	0,974	0,993	0,997	0,999
$E_{\gamma}=2\text{МэВ}$	$K_{WB}$	2,296	3,023	3,223	3,241	3,249
	$K_{WB}^*$	3,271	3,271	3,271	3,271	3,271
	$K_{WB}/K_{WB}^*$	0,701	0,924	0,985	0,991	0,993
$E_{\gamma}=3\text{МэВ}$	$K_{WB}$	2,196	2,923	3,183	3,248	3,256
	$K_{WB}^*$	3,271	3,271	3,271	3,271	3,271
	$K_{WB}/K_{WB}^*$	0,671	0,894	0,973	0,993	0,995

\*- без учета излучения, проходящего через шасси ( $P_{02}=0$ )



**Рис. 3.5.** Зависимость уровня защиты оператора трактора класса 10 от толщины защитного экрана шасси  $b_w$  при различных  $E_\gamma$ , положение оператора  $y=0,5B_w$ ,  $RЗМ - r = 5,5$  м (по данным таблицы 3.4)

По табл. 3.3, 3.4 и рис. 3.5 видно, что на кратность ослабления ГИ в расчетных точках за защитным экраном с параметрами шасси трактора Т-170.61 при круговом поле ГИ грунта РЗМ с размерами источника значительно больше размеров проекции шасси на грунт (образуемой лучами, проходящими из расчетной точки через края экрана) влияние излучения из зоны, перекрытой защитным экраном, незначительно. Это условие сохраняется для наиболее вероятной энергии поля ГИ РЗМ ( $E_\gamma \leq 2$  МэВ) с  $r = 4,31$  м при  $b_w \geq 13$  см, с  $r = 5,5$  м при  $b_w \geq 10$  см (табл. 3.4), с  $r = 20$  м при  $b_w \geq 2,5$  см (расчет по формуле (3.7), отношение кратности, соответственно, с учетом и без учета излучения, проходящего через шасси, не более 0,92. Следовательно, для заданных условий (по радиусу ГИ и размерам защитного экрана шасси) менее 8 % от общей мощности ГИ пройдет через шасси, соответственно основное излучение поступает из зоны, не перекрытой узлами шасси.

Увеличение радиуса излучающего диска на грунте РЗМ и уменьшение энергии поля ГИ приводит к значительному уменьшению влияния излучения из зоны, перекрытой защитным экраном шасси, на мощность дозы ГИ в расчетных точках. При этом точность расчета кратности ПРЗ по формуле (3.7) возрастает.

На РЗМ с  $E_\gamma \leq 2$  МэВ и  $r = 20$  м рациональная толщина защитного экрана шасси трактора, расчет по формуле (3.7) – 2,5 см по стали (для заданных условий менее 8 % от общей мощности ГИ пройдет через шасси, так как основное излучение проходит из зоны не перекрытой узлами шасси). Дальнейшее увеличение толщины защитного экрана незначительно увеличивает уровень защиты оператора. Следовательно, для таких условий на реальном тракторе (при работе на поле РЗМ) в районе ослабленных зон, где возможен прострел ГИ, необходима установка локальной защиты, толщина которой в сумме с толщиной узлов шасси должна обеспечивать защиту эквивалентную 2,5 см стали.

Очевидно, что все основные выводы по защите оператора от излучений узлами шасси, полученные для тракторов Т-170.61 и ДЭТ-250М2, имеют место и для других гусеничных промышленных тракторов класса 10...25, а также других тракторов (в том числе колесных) и машин (например, погрузчиков) с подобной компоновкой.

### **3.2.3. Оценка сходимости результатов предлагаемой методики с расчетами по ГОСТ и экспериментом**

Проверим сходимость расчета уровней ПРЗ оператора узлами шасси, по формуле (3.7), с результатами экспериментальной проверки (на установках ГИ) и расчетом по ГОСТ В 26457 (из раздела 5.1.4).

В качестве объекта испытаний использовались опытные образцы шасси бульдозеров ДЗ-171.1КЗ (на базе трактора Т-170.61), ДЗ-132-1КЗ (на базе трактора ДЭТ-250М2) (рис. 5.1), а также грузовые автомобили Урал-4320, ЗИЛ-131, ГАЗ-66.

При расчете по формуле (3.7) вклада шасси в защищенность оператора, находящегося на штатном месте (и смещенного в различных направлениях) серийных автомобилей и тракторов, параметры которых приведены в табл. 3.1 и 3.2 от излучающего диска по ГОСТ В 26457 и

ГОСТ В 23731 (в соответствии с условиями испытаний на установке «Имитатор») разница расчетной оценки ПРЗ:

– по формуле (3.7) и экспериментам (для указанных КГМ) не превышает 13%, что вполне допустимо, учитывая погрешность измерений эксперимента (не менее 10%);

– в сравнении с расчетом по ГОСТ В 26457 составляет до 10%.

Расхождение между предлагаемой оценкой ПРЗ по формуле (3.7) с экспериментальными результатами и оценкой по ГОСТ В 26457 в основном обусловлено неравномерностью распределения массы узлов и агрегатов в составе шасси.

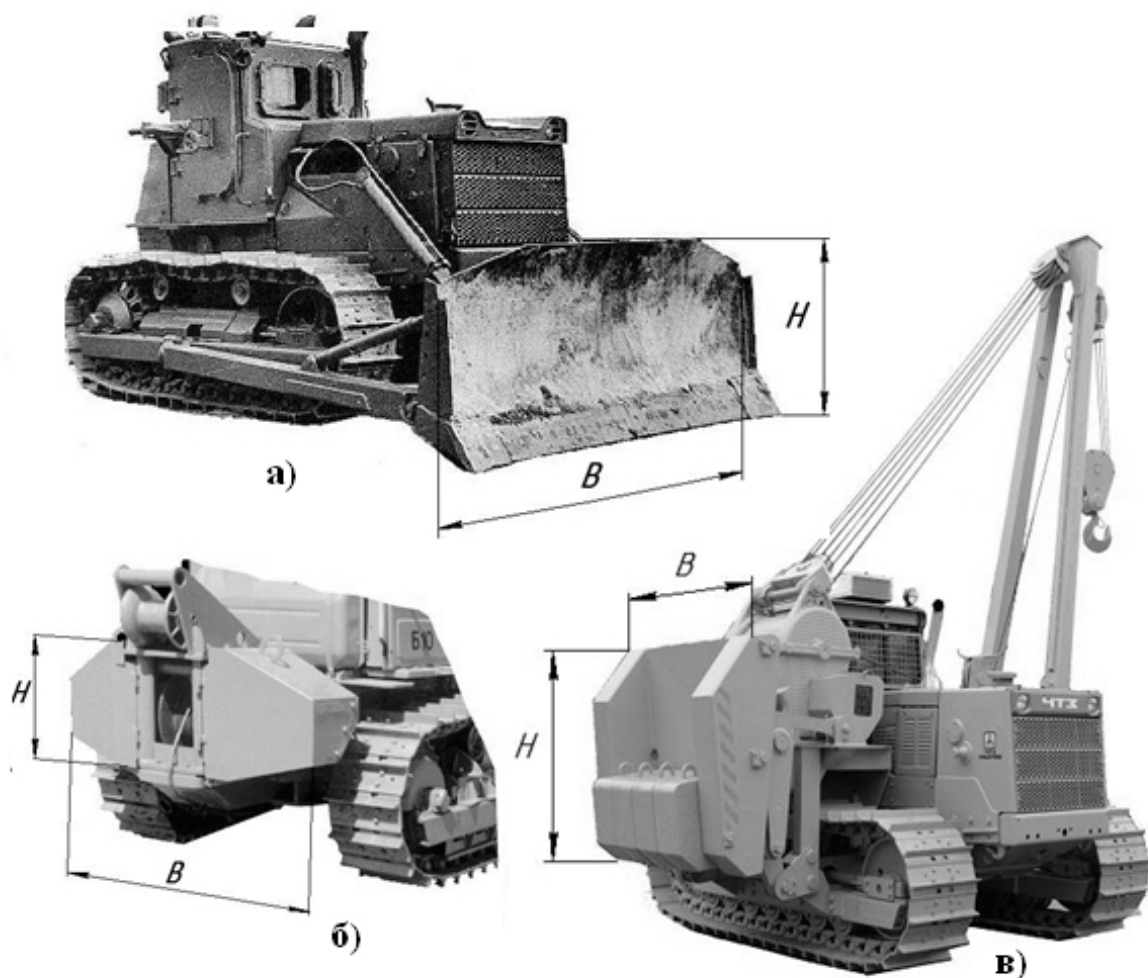
Для грузового автомобиля (оценка вклада в ПРЗ – двигателя и КПП) значения по формуле (3.7) также в среднем занижены на 5...8%, так как при этом не учтены в защите целый ряд узлов шасси имеющих сравнительно малую толщину или площадь перекрытия оператора от поля ГИ (рама машины, передний мост, ряд систем и др).

Используя приведенную выше методику, соответственно (по типу «автомобиль» или «трактор») скорректировав расположение и габаритно-массовые параметры ПРЗ защитного экрана, можно оценить влияние узлов шасси на защиту от источников ГИ, находящихся на грунте, для любой подобной гусеничной или колесной машины.

### **3.3. РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ ОПЕРАТОРА УЗЛАМИ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Узлы рабочего оборудования (отвал, лебедка, рыхлитель, сварочный агрегат и др.) машины (рис. 3.6) в определенной мере защищают оператора от гамма-излучения грунта РЗМ.

Очевидно, что чем больше площадь и толщина этих узлов в направлении хода попадающих на человека радиоактивных лучей, тем большее влияние на уровень противорадиационной защиты оператора они оказывают.



**Рис. 3.6.** Некоторые виды рабочего оборудования, наиболее часто встречающиеся в технике для работы на РЗМ ( $B$ ,  $H$  – размеры рабочего оборудования, учитываемые при расчете по экспресс – методике)

*a* – отвал бульдозера, *б* – лебедка, *в* – трубоукладочное оборудование

Предлагается универсальная методика экспресс – оценки влияния рабочего оборудования на защищенность оператора от поля ГИ на грунте [80, 81]. Эта методика вместе с подобной методикой расчета влияния габаритно – массовых параметров шасси на ПРЗ оператора (разделы 3.1, 3.2) может стать основой расчёта защиты оператора от ГИ грунта узлами базового агрегата (базового шасси) на этапе проектирования, при минимальных исходных данных. По существу для такого расчета необходимо знать размеры оборудования по длине и ширине и его расположение относительно оператора.

При разработке методики был использован ряд допущений по формализации основных признаков, влияющих на защиту оператора от излучения грунта РЗМ узлами рабочего оборудования, приведенный в разделе 3.1.

При этом:

а) защитный экран рабочего оборудования в основном представляется в виде стального параллелепипеда с размерами по длине и ширине, равными соответствующим размерам оборудования в плане, толщиной  $b$ , соответствующей приведенной к размерам экрана массе оборудования с положением центра тяжести от грунта, совпадающим с центром тяжести оборудования;

б) проекции прямых, проходящих через биологические точки оператора и края защитного экрана на грунте, должны находиться внутри диска – модели поля ГИ, эти проекции формируют на диске перекрытую защитным экраном оборудования площадь в виде трапеции.

Рассмотрим методику для оценки влияния находящегося на грунте отвала бульдозерного агрегата на уровень ПРЗ оператора.

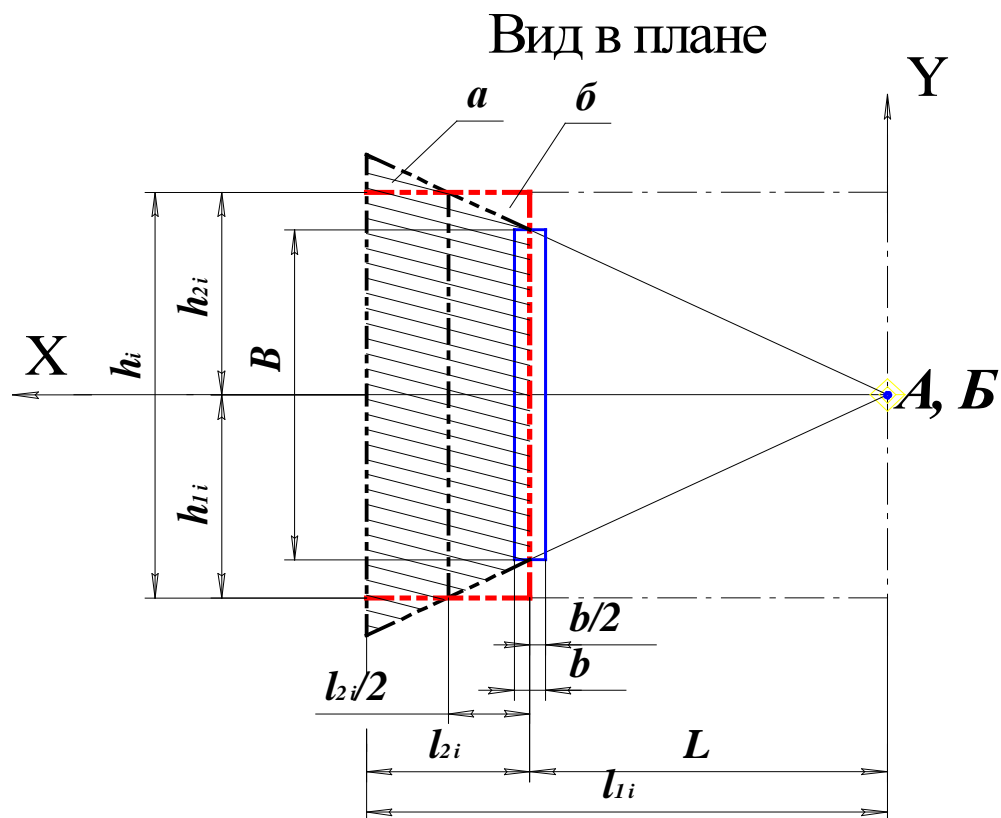
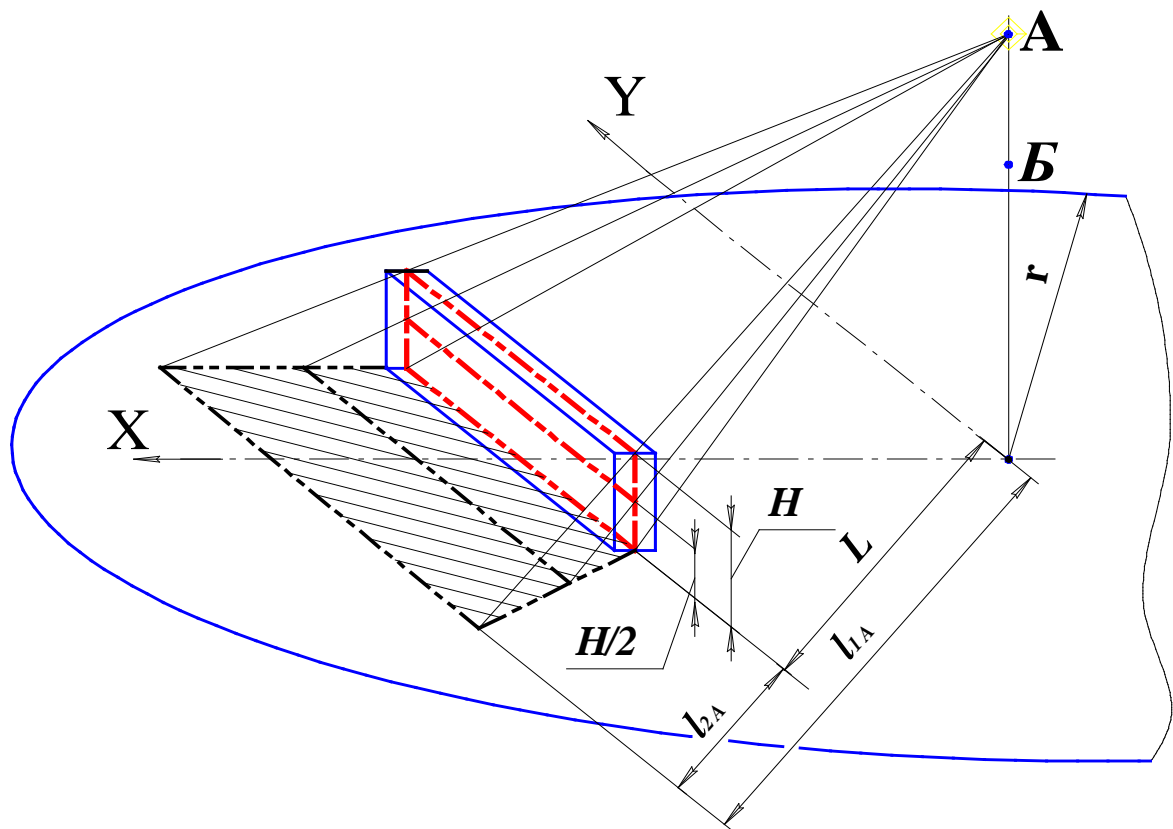
Отвал, учитывая его положение (перекрытие части излучения, получаемого оператором) и габаритно – массовые параметры, обеспечивает практически максимально возможный уровень защиты в сравнении с другим рабочим оборудованием (лебедка, рыхлитель и др.).

На рис. 3.7 показана графическая формализация основных параметров отвала и поля РЗМ для расчета ПРЗ оператора.

Как видно из рис. 3.7, мощность дозы ГИ в расчетной точке определяется излучением, проходящим из двух условно выделенных зон РЗМ – не перекрытой и перекрытой рабочим оборудованием.

Перекрытая отвалом зона РЗМ на рис. 3.7 изображена в виде соответствующей расчетной точке заштрихованной зоне в виде трапеции (полученной исходя их условий формализации признаков).





*Рис. 3.7. Схема к расчету влияния отвала бульдозера на уровень защиты оператора от ГИ грунта,  $i$  – индекс расчетной точки (А или Б)*

Расчет влияния рабочего оборудования на ПРЗ оператора при минимуме исходных данных на начальных стадиях проектирования можно проводить подобно методике, изложенной в разделе 3.1, по расчетной схеме на рис. 3.7 с делением зоны излучения на прямоугольники по типу предложенных на рис. 3.2.

Перекрытая отвалом зона (высотой  $H$  и шириной  $B$ ) заменяется соответствующей проекцией на грунте в виде трапеции. Зона, не перекрытая отвалом, ограничена: снаружи размерами излучающего диска; внутри – размерами зоны заштрихованной трапеции.

Перекрытую отвалом в виде трапеции зону заменяем на, подобный по площади и расположению, прямоугольник с размерами  $l_2$  и  $h$ . На самом деле мощность из зоны прямоугольника будет несколько выше, так как мощность излучения в расчетных точках из одинаковых по площади с треугольниками «а» треугольников «в», находящихся ближе к расчетным точкам, несколько выше.

Тогда, заштрихованная зона, определяется как разность площадей прямоугольников с размерами  $l_{1i}$ ,  $h_i$  и  $L$ ,  $h_i$ . При этом формула (3.3) для вычисления мощности дозы ГИ из зоны, перекрытой отвалом, примет вид:

$$P_{1i} = P_{\gamma} \sigma \left[ \Phi_i \left( \frac{z_i}{l_{1i}}; \frac{h_{1i}}{l_{1i}} \right) - \Phi_i \left( \frac{z_i}{L}; \frac{h_{1i}}{L} \right) + \Phi_i \left( \frac{z_i}{l_{1i}}; \frac{h_{2i}}{l_{1i}} \right) - \Phi_i \left( \frac{z_i}{L}; \frac{h_{2i}}{L} \right) \right] \quad (3.8)$$

При симметричном расположении отвала относительно продольной оси базовой машины (рис. 3.7) имеем  $h_{1i} = h_{2i}$ , что приводит к упрощению формулы (3.8):

$$P_{1i} = 2P_{\gamma} \sigma \left[ \Phi_i \left( \frac{z_i}{l_{1i}}; \frac{h_{1i}}{l_{1i}} \right) - \Phi_i \left( \frac{z_i}{L}; \frac{h_{1i}}{L} \right) \right] \quad (3.9)$$

Для вычисления мощности дозы ГИ из зоны, перекрытой отвалом, за защитным экраном толщиной  $b_{po}$  можно воспользоваться аддитивностью

доз поверхностных источников ГИ, тогда мощность дозы излучения  $P_2$  из зоны, перекрытой защитным экраном, складывается из 4 прямоугольников, соответственно:

- с размерами  $h_{1i}$ ,  $l_1$  и параметрами  $m_1$ ,  $n_1$ ;
- с размерами  $h_{2i}$ ,  $l_1$  и параметрами  $m_2$ ,  $n_2$ ;
- с размерами  $h_{1i}$ ,  $L$  и параметрами  $m_3$ ,  $n_3$ ;
- с размерами  $h_{2i}$ ,  $L$  и параметрами  $m_4$ ,  $n_4$ .

При этом формула (3.6) для вычисления мощности дозы излучения  $P_2$  из-за заштрихованной зоны принимает вид:

$$P_2 = p_\gamma \sigma B_\delta^q \left\{ \begin{array}{l} \Phi_1(m_1; n_1; \mu b_{po}) + \Phi_2(m_2; n_2; \mu b_{po}) - \\ - \Phi_3(m_3; n_3; \mu b_{po}) - \Phi_4(m_4; n_4; \mu b_{po}) \end{array} \right\}, \quad (3.10)$$

где  $\Phi$  – площадь соответствующего прямоугольника, рассчитываемая по формуле (3.5).

На основании схемы расчета (см. рис. 3.7) и формул (3.7...3.10) кратность ослабления дозы ГИ отвалом (другим рабочим оборудованием) в расчетных точках определяется:

$$K = \frac{\pi \ln \frac{r^2 + z_i^2}{z_i^2}}{\pi \ln \frac{r^2 + z_i^2}{z_i^2} - \left[ \sum_{j=1,2} \Phi_{ij}(m_{ij}; n_{ij}) - \sum_{j=3,4} \Phi_{ij}(m_{ij}; n_{ij}) \right] + B_\delta^q \left[ \sum_{j=1,2} \Phi_{ij}(m_{ij}; n_{ij}; \mu b_w) - \sum_{j=3,4} \Phi_{ij}(m_{ij}; n_{ij}; \mu b_w) \right]}, \quad (3.11)$$

где  $i$  – индекс, означающий заданную точку ( $A$  или  $B$ ),

$j$  – индекс, соответствующей части учитываемой зоны.

В табл. 3.5 приведено влияние ряда рабочего оборудования на ПРЗ оператора на конкретной РЗМ с ГИ на грунте, рассчитанное по формуле (3.11).

Таблица 3.5

Основные размеры некоторого рабочего оборудования и его влияние на уровень ПРЗ оператора  
(источник ГИ на грунте,  $E_\gamma=0,8$  МэВ,  $r = 4$  м)

Рабочее оборудование	Габаритные и установочные размеры, мм					Кратность ослабления излучения $K$ , крат	
	Ширина $B$	Высота $H$	Приведенная толщина $b$	Расстояние от плоскости (середины защитного экрана) до		по предлагаемой методике	по ГОСТ В26457
				оси оператора, $L$	грунта		
Отвал (тип Е) <sup>*3</sup> трактор Т10М	3310	1310	29	3880	655 <sup>*3</sup>	1,106 <sup>*1</sup> (1,066 <sup>*2</sup> )	1,101 <sup>*1</sup> (1,064 <sup>*2</sup> )
Лебёдка ЛТ25 <sup>*4</sup> трактор Т10М	1850	1000	132 <sup>*4</sup>	1310	1030	1,051 <sup>*1*4</sup> (1,030 <sup>*2*4</sup> )	1,047 <sup>*1</sup> (1,029 <sup>*2</sup> )
Отвал (тип Е) <sup>*3</sup> трактор ДЭТ-250, ДЭТ-320	4250	1850	37	3670	925 <sup>*3</sup>	1,136 <sup>*1</sup> (1,089 <sup>*2</sup> )	1,131 <sup>*1</sup> (1,087 <sup>*2</sup> )

<sup>\*1</sup> значение кратности ослабления излучения для точки В – характеризует уровень биологической защиты, т.к.  $K_B/K_A \leq 2$  [1,2]

<sup>\*2</sup> значение кратности ослабления излучения для точки А

<sup>\*3</sup> отвал на грунте; <sup>\*4</sup> без учёта ролика под канат

### 3.4. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЗАЩИТУ ОПЕРАТОРА

Рассмотрим применение предлагаемой методики (раздел 3.3) для исследования влияния изменения параметров конкретных отвалов на уровень защиты оператора от ГИ грунта РЗМ.

Отвал выбран объектом исследования в связи с тем, что он:

– обеспечивает практически максимально возможный уровень ПРЗ оператора (в первую очередь из-за больших габаритных размеров по длине и ширине и расположению его на грунте) в сравнении с другими видами рабочего оборудования [44, 80, 81];

– широко распространен (часто применяется) в качестве рабочего оборудования; имеет много различных исполнений, в том числе и для одной машины (на одном базовом тракторе – прямой, полусферический, сферический и др) в зависимости от вида, особенностей и сложности выполняемых работ.

#### **Исходные данные для расчета:**

1. Поле ГИ на грунте считаем в виде бесконечно тонкого диска с равномерным распределением радиоактивного источника – с постоянным значением поверхностной плотности активности, с  $E_{\gamma} = 0,8 \text{ МэВ}$  (часто встречающаяся энергия поля ГИ РЗМ).

2. Габаритно-массовые параметры отвалов гусеничных промышленных тракторов типа Т10 (самый массовый бульдозерный агрегат в России, класс тяги 10) и ДЭТ-250, ДЭТ-320 (из-за больших размеров отвала, класс тяги 25).

Бульдозерные агрегаты на базе гусеничных промышленных тракторов класса тяги меньше 10 и больше 25 на РЗМ практически не применяются.

### 3.4.1. Отдельные параметры оборудования и уровень защиты

В табл. 3.5...3.8 и на рис. 3.8 показаны результаты расчета по формуле (3.11) оценки влияния отвала и изменения его отдельных параметров на уровень ПРЗ оператора от ГИ грунта РЗМ, по которым сделаны выводы:

1. Увеличение габаритных параметров высоты и ширины (соответственно  $H$  и  $B$ ) отвала, другого рабочего оборудования и удаление этого оборудования от расчетных точек ( $L$ ) приводит к практически линейному росту кратности ослабления излучения ( $K$ ). Наибольший относительный рост уровня ПРЗ у реальных конструкций рабочего оборудования обеспечивает увеличение высоты отвала ( $H$ ).

Меньшие значения ПРЗ оператора для  $H < 1700$  мм у ДЭТ-250, по сравнению с Т10М, на графике  $K = f(H)$  (см. рис. 3.8) при больших значениях параметров отвала  $L$ ,  $B$ ,  $b$  очевидно связаны с более высоким расположением оператора относительно уровня грунта (у Т10М  $Z_B = 2000$  мм,  $Z_A = 2600$  мм; у ДЭТ-250  $Z_B = 2800$  мм,  $Z_A = 2200$  мм). При дальнейшем увеличении высоты отвала влияние этого фактора на уровень ПРЗ оператора уменьшается.

2. Рост толщины отвала ( $b$ ) до 10 мм (для  $E_\gamma = 0,8$  МэВ) приводит к увеличению уровня защиты оператора от ГИ грунта, дальнейшее увеличение толщины практически не влияет на кратность ослабления излучения, так как в этом случае определяющим становится излучение поля РЗМ из не перекрытой отвалом зоны.

3. При оценке ПРЗ оператора на основе рассматриваемых условий (исходных данных) кратность ослабления излучения отвалом не превышает 1,15 крат. Учитывая параметры отвала, значение  $K_B = 1,15$  крат можно считать теоретически предельным уровнем ПРЗ оператора от ГИ грунта для любого вида рабочего оборудования (отвала, рыхлителя, лебедки и др.).

**Таблица 3.6**

*Влияние изменения габаритных параметров отвала на  
уровень ПРЗ оператора*

<b>Наименование параметра</b>	<b>Значение параметра, размер в мм (кратность ослабления ГИ, точки А, Б)</b>
Ширина отвала ( $B$ ), ( $K_A / K_B$ ) (при $L_{po}=3880$ мм, $H_{po} = 1310$ мм, $b_{po} = 29$ мм)	3200 (1,064/1,103), 3330 (1,066/1,106), 3400 (1,067/1,108), 3600 (1,069/1,112), 3800 (1,072/1,117), 4000 (1,074/1,121), 4200 (1,077/1,125), 4400 (1,079/1,129), 4600 (1,081/1,132).
Высота отвала ( $H$ ), ( $K_A / K_B$ ) (при $L_{po}=3880$ мм, $B_{po} = 3310$ мм, $b_{po} = 29$ мм).	1200 (1,058/1,095), 1300 (1,063/1,102), 1360 (1,066/1,106), 1400 (1,068/1,109), 1500 (1,073/1,115), 1600 (1,077/1,121), 1700 (1,082/1,126), 1800 (1,086/1,131), 1900 (1,090/1,136), 1950 (1,092/1,138).

**Таблица 3.7**

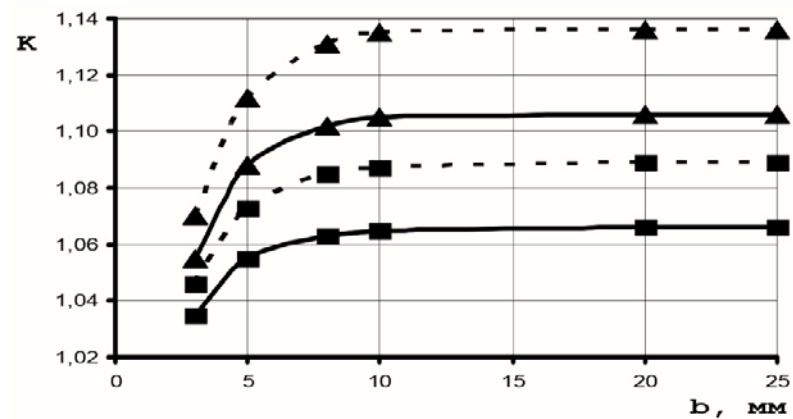
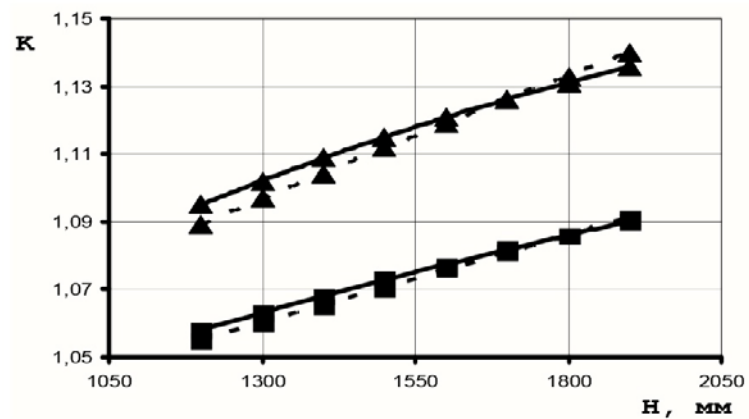
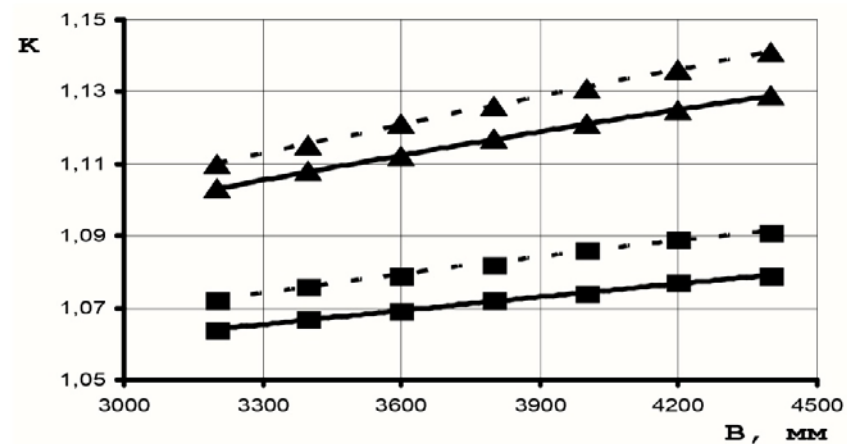
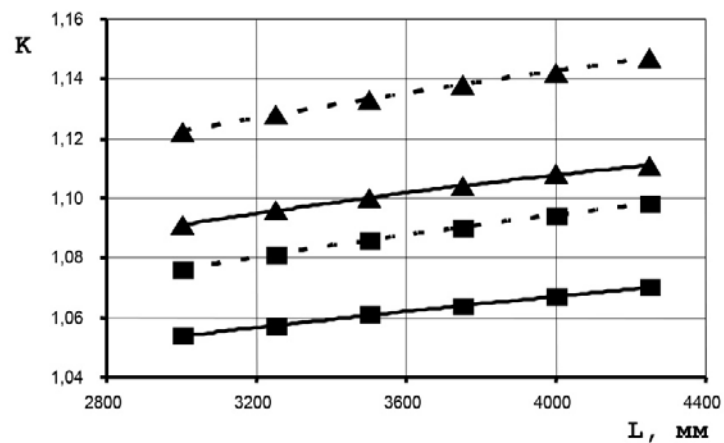
*Влияние удаления отвала от оператора на уровень ПРЗ оператора*

<b>Наименование параметра</b>	<b>Значение удаления отвала (<math>L</math>), размер в мм (кратность ослабления ГИ, точки А, Б)</b>
Удаление отвала, ( $K_A / K_B$ ) (при $H_{po}=1310$ мм, $B_{po} = 3310$ мм, $b_{po} = 29$ мм),	3000 (1,054/1,091), 3250 (1,057/1,096), 3500 (1,061/1,104), 3750 (1,064/1,104), 3880 (1,066/1,106), 4000 (1,067/1,108), 4250 (1,070/1,111).

**Таблица 3.8**

*Влияние изменения толщины отвала на уровень ПРЗ оператора*

<b>Наименование параметра</b>	<b>Значение толщины отвала (<math>b</math>), размер в мм (кратность ослабления ГИ, точки А, Б)</b>
Толщина листа отвала ( $K_A / K_B$ ) (при $H_{po} = 1310$ мм, $B_{po}= 3310$ мм, $L_{po} = 3880$ мм),	5 (1,035/1,055), 8 (1,063/1,102), 10 (1,065/1,105), 20 (1,066/1,106), 29 (1,066/1,106).



**Рис. 3.8.** Влияние изменения отдельных размеров отвала бульдозера и его установки на уровень ПРЗ оператора (удаления отвала от оператора  $L$ , ширины  $B$ , высоты  $H$  и толщины  $b$  отвала)

—■—  $T10M.0000EH$ , точка А      —▲—  $T10M.0000EH$ , точка Б  
 -■-  $DZT-250M2$ , точка А      -▲-  $DZT-250M2$ , точка Б



### 3.4.2. Оценка сходимости результатов предлагаемой методики с результатами предшествующих исследований

Рассчитаем значения уровня защиты от ГИ оператора по формуле (3.11) для различных основных видов рабочего оборудования и сравним их с расчетами по ГОСТ В 26457 [59].

В таблице 3.9 приведены расчетные значения уровня ПРЗ оператора по предлагаемой методике и ГОСТ В 26457 (по подробной компоновочной схеме) для конкретного рабочего оборудования. Рассматривается моноэнергетическое поле ГИ на грунте с энергией излучения  $E_\gamma = 0,8$  МэВ (фактическая основная энергия поля ГИ на РЗМ при аварии на ЧАЭС), операторы размещены на серийных местах (для Т10М  $Z_B = 2$ м,  $Z_A = 2,6$ м; для ДЭТ – 250  $Z_B = 2,2$ м,  $Z_A = 2,8$ м).

В качестве исходных данных были взяты параметры отвалов (для тракторов типа Т10 и ДЭТ-250, ДЭТ-320) и лебедки (для трактора типа Т10). Расчеты по методике также показывают, что у лебедки Н110 – 68001 трактора ДЭТ-320  $K_B = 1,067$ , у одностоечного рыхлителя ДЭТ-250, ДЭТ-320  $K_B = 1,034$ .

*Разница значений кратности ослабления излучений рабочим оборудованием, рассчитанных по предлагаемой методике и ГОСТ В 26457 вполне приемлема (не превышает 8% для всего рассмотренного рабочего оборудования).*

Эта разница в основном определяется наличием у рабочего оборудования неучтенных в методике вырезов, скосов, а также ряда крупных узлов (толкающих брусьев отвала, рамы трубоукладчика, защиты узлов тяговой лебедки и др.) [80, 81].

При общей оценке уровня ПРЗ оператора у конкретного агрегата (машины) следует учитывать, что часть направленного на оператора, прошедшего через рабочее оборудование, излучения перекрыта узлами шасси.

Таблица 3.9

Основные размеры некоторого рабочего оборудования и его влияние на уровень ПРЗ оператора  
(источник ГИ на грунте,  $E_\gamma=0,8$  МэВ)

Рабочее оборудование	Габаритные и установочные размеры, мм					Кратность ослабления излучения $K$ , крат	
	Ширина $B$	Высота $H$	Приведенная толщина $b$	Расстояние от плоскости (середины защитного экрана) до		по предлагаемой методике	по ГОСТ В26457
				оси оператора, $L$	грунта		
Отвал (тип Е) <sup>*3</sup> трактор Т10М	3310	1310	29	3880	655 <sup>*3</sup>	1,106 <sup>*1</sup> (1,066 <sup>*2</sup> )	1,101 <sup>*1</sup> (1,064 <sup>*2</sup> )
Лебёдка ЛТ25 <sup>*4</sup> трактор Т10М	1850	1000	132 <sup>*4</sup>	1310	1030	1,051 <sup>*1*4</sup> (1,030 <sup>*2*4</sup> )	1,047 <sup>*1</sup> (1,029 <sup>*2</sup> )
Отвал (тип Е) <sup>*3</sup> трактор ДЭТ-250, ДЭТ-320	4250	1850	37	3670	925 <sup>*3</sup>	1,136 <sup>*1</sup> (1,089 <sup>*2</sup> )	1,131 <sup>*1</sup> (1,087 <sup>*2</sup> )

<sup>\*1</sup> значение кратности ослабления излучения для точки В – характеризует уровень биологической защиты, т.к.  $K_B/K_A \leq 2$  [2, 3]

<sup>\*2</sup> значение кратности ослабления излучения для точки А

<sup>\*3</sup> отвал на грунте; <sup>\*4</sup> без учёта ролика под канат

### 3.5. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗАЩИТНОЙ КАБИНЫ

Уровень ПРЗ оператора и электронного оборудования у машины, работающей на РЗМ, определяется, в основном, защитной кабиной.

Многообразие техники, работающей на РЗМ, приводит к конструктивному многообразию устанавливаемых на технику кабин и их ПРЗ.

Так как для этих машин, как правило, используется базовое шасси уже существующей техники, то основные трудности возникают именно при проектировании новой защитной кабины оператора, которая должна обеспечивать выполнение предъявляемых к ней требований (в первую очередь защиты от ГИ РЗМ и эргономических) при минимальных весовых характеристиках.

Для оценки разрабатываемых образцов (по уровню защиты экипажа, габаритно-массовым параметрам кабины) на начальных этапах проектирования нужна упрощенная математическая модель кабины, отражающая взаимосвязи между основными параметрами защитной кабины и базового шасси (базовой машины), с учетом выполняемой на РЗМ работы. Схема такой взаимосвязи показана на рис. 3.9.

При разработке математической модели [66] сделаны следующие допущения по формализации основных формообразующих признаков кабины:

- 1) На кабину накладываются ограничения, определяемые требованиями к параметрам ходовой части, обитаемости, защиты;

- 2) В расчетах учтены силы и реакции, полученные при прямолинейном движении машины с постоянной скоростью:

- вес машины, распределенный по узлам и агрегатам, включая кабину и перевозимый груз;



*Рис. 3.9. Схема зависимости защиты экипажа стенками кабины от основных параметров машины и характеристик источника ГИ*

– нормальные реакции со стороны дороги, действующие на элементы движителя;

– внешние сопротивления, приложенные к рабочему органу.

Силами инерции вращающихся деталей ходовой части и трансмиссии пренебрегаем, ввиду их относительно небольшого влияния на общую динамику машины.

Силой сопротивления воздуха, зависящей в первую очередь от скорости движения машины, пренебрегаем вследствие того, что у техники, работающей на РЗМ, сравнительно низкие скорости передвижения, и эта сила весьма мала по сравнению с другими силами, влияющими на распределение нагрузок на шасси.

3) В качестве исходных (известных) данных выступают: вес и положение центра тяжести шасси, навесного оборудования и груза.

4) Кабина представляет собой оболочку тела, образуемого внешними поверхностями соединенных вместе геометрических фигур в виде параллелепипедов и призм с попарно общими (для смежных фигур) основаниями.

5) Координаты центра кабины с защитой от ГИ РЗМ определяются местом установки обычной (серийной) кабины.

Координаты центра тяжести внутреннего оборудования и экипажа с целью упрощения расчетов, так как первоначально их координаты неизвестны, принимаем совпадающими с координатами центра тяжести кабины.

### **3.5.1. Зависимость массы кабины от базового шасси**

#### **для гусеничных и колесных машин**

За счет ПРЗ масса кабины увеличивается, ограничение этого увеличения определяется компоновкой, параметрами базового шасси, типом ходовой системы, местом работы и техническими требованиями к виду выполняемых работ [13, 14, 44, 66, 110, 111, 229, 244 и др].

### **Допустимый интервал массы кабины**

Допустимый интервал массы кабины определяет интервал массы ПРЗ, которую можно установить на базовое шасси машины при выполнении заданных работ. Допустимая масса ПРЗ в основном определяется грузоподъемностью базового шасси, компоновкой машины, величиной допустимого смещения центра давления (при установке защиты), нагрузками, воспринимаемыми машиной, в том числе при различных режимах работы и при использовании рабочего оборудования [113, 242 и др].

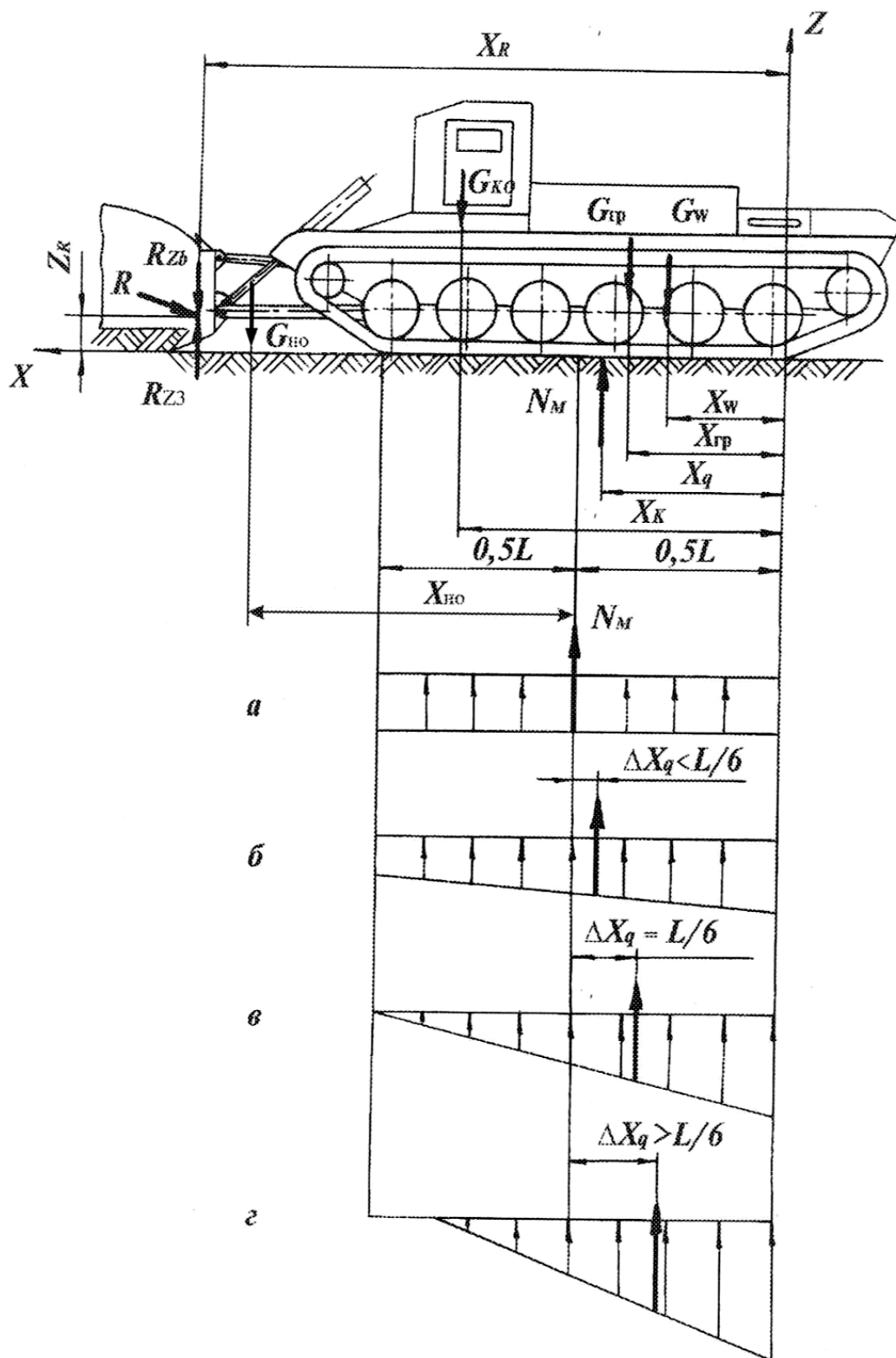
### **Гусеничная машина**

Для качественного выполнения технологических операций гусеничных бульдозерных агрегатов необходимо чтобы в передаче нагрузок на грунт (давлении на грунт) участвовала вся опорная поверхность гусениц. Выполнение этого требования зависит от положения центра давления машины, на которое наряду с другими факторами оказывает влияние масса и расположение кабины на шасси.

Для оценки положения центра давления машины (точки приложения результирующей нормальных реакций грунта) можно пренебречь неравномерностью распределения давления между опорными катками и принять допущение о линейном характере эпюры нормальных давлений. Результирующая сила нормальных реакций грунта проходит через центр эпюры. В зависимости от положения центра тяжести машины эпюры могут принимать следующие формы (рис. 3.10).

При прямоугольной эпюре центр давления машины располагается посередине опорной поверхности гусениц (рис.3.10 а), то есть величина смещения центра давления машины равна нулю  $\Delta X_q = 0$ .

При эпюре в виде трапеции имеет место смещение положения центра давления. Величина смещения центра давления от центра опорной площадки гусениц может принимать разные значения и зависит от соотношения минимального и максимального значений давлений.



**Рис. 3.10.** Схема сил, действующих на гусеничный агрегат с рабочим оборудованием, и эпюры нормальных давлений агрегата на грунт, в зависимости от смещения (из-за установки ПРЗ) центра давления.

При смещении центра давления на величину  $L/3$  (максимальное значение), эпюра превращается в треугольник. Смещение равно:

$$\Delta X_q = \frac{L}{2} - \frac{L}{3} = \frac{L}{6},$$

где  $L$  – продольная база гусеничной машины.

Таким образом, центр давления гусеничной машины, исходя из условия передачи нагрузок на грунт всей опорной поверхностью гусеницы, должен находиться от задней (или передней) кромки опорной поверхности гусеницы в интервале расстояний:

$$\frac{L}{3} < \Delta X_q < \frac{2L}{3}, \quad (3.12)$$

При работе рыхлителем на отдельных режимах работы возможен выход центра давления за областные ограничения формулы 3.12.

Допустимый диапазон массы кабины можно определить из математической модели, включающей уравнения статики и ограничения по продольному смещению центра тяжести машины и грузоподъемности базового шасси:

$$\left. \begin{aligned} N_m X_q + R_z X_R - G_{kj} X_k - G_w X_w - G_{но} X_{но} - G_{rp} X_{rp} &= 0, \\ N_m - G_{kj} - G_w - G_{но} - G_{rp} + R_z &= 0, \\ \frac{L}{3} < X_q < \frac{2L}{3}, \quad G_m &\leq G_{m\max}, \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

где  $N_m$  – результирующая нормальная реакция со стороны грунта,

$X_q$  – координата центра давлений относительно задней кромки гусеницы,

$G_{kj}, G_w, G_{но}, G_{rp}$  – вес кабины, шасси, навесного оборудования и груза, соответственно,

$X_{kj}, X_w, X_{но}, X_{rp}$  – координаты центров тяжести кабины, шасси, навесного оборудования и груза, соответственно,

$R_z, X_R$  – вертикальная внешняя сила, действующая на рабочее оборудование и координата ее точки приложения, соответственно.



Кроме продольного смещения центра давления у машины возможно и поперечное, которое в практике проектирования стремятся избежать. Наличие такого смещения приводит к перераспределению сил тяги на гусеницах в условиях прямолинейного движения, что вызывает самопроизвольный увод машины и односторонний износ механизмов трансмиссии, управления и деталей ходовой части.

При наличии поперечного смещения центра тяжести машины необходимо, чтобы нагрузка на гусенице не превышала ее грузоподъемность.

Поперечную устойчивость гусеничной машины с защитной кабиной (рис. 3.11) оценивают по предельному статическому углу поперечного уклона ( $\beta_{lim} \approx 40^\circ \dots 50^\circ$ ):

$$tg\beta_{lim} = [0,5(B + h_{гус}) - |Y_c|] / Z_c , \quad (3.14)$$

где  $B$  – колея машины,

$h_{гус}$  – ширина гусеницы,

$Z_c$  – вертикальная координата центра тяжести машины,

$Y_c$  – поперечное смещение центра масс машины относительно ее продольной оси.

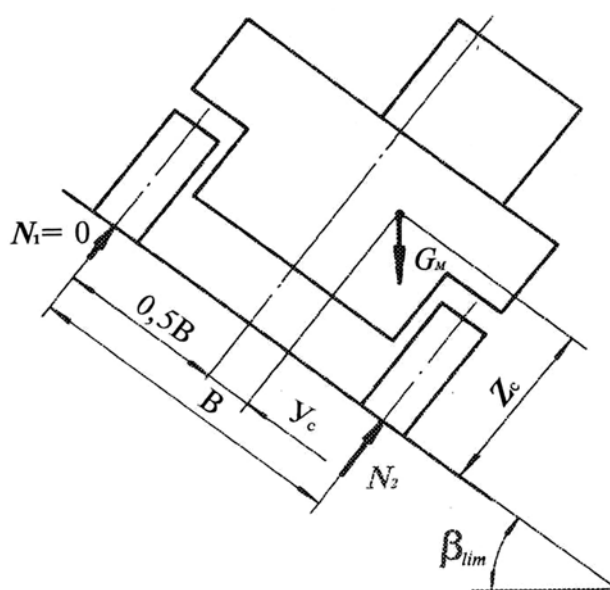


Рис. 3.11. Схема сил, действующих при поперечном уклоне машины

При определении предельного веса кабины с ПРЗ для БА необходимо рассматривать следующие расчетные случаи (рис. 3.12):

1. бульдозер движется по горизонтальной поверхности в транспортном режиме, отвал поднят на максимальную высоту (рис. 3.12а);
2. бульдозер движется по горизонтальной поверхности с максимально возможным объемом призмы волочения при одновременном резании грунта с оптимальной глубиной резания (рис.3.12б);
3. бульдозер движется в траншее по горизонтальной поверхности без срезания грунта, но с максимально возможным объемом призмы волочения (рис. 3.12б);
4. движение бульдозера с поднятым отвалом на предельном угле уклона;
5. движение бульдозера на уклоне ( $\beta_{lim} \geq 20^0$ ) с максимально возможным объемом призмы волочения или при резании грунта,
6. бульдозер движется с максимально возможным объемом призмы волочения на подъеме ( $\alpha \geq 15^0$ ).

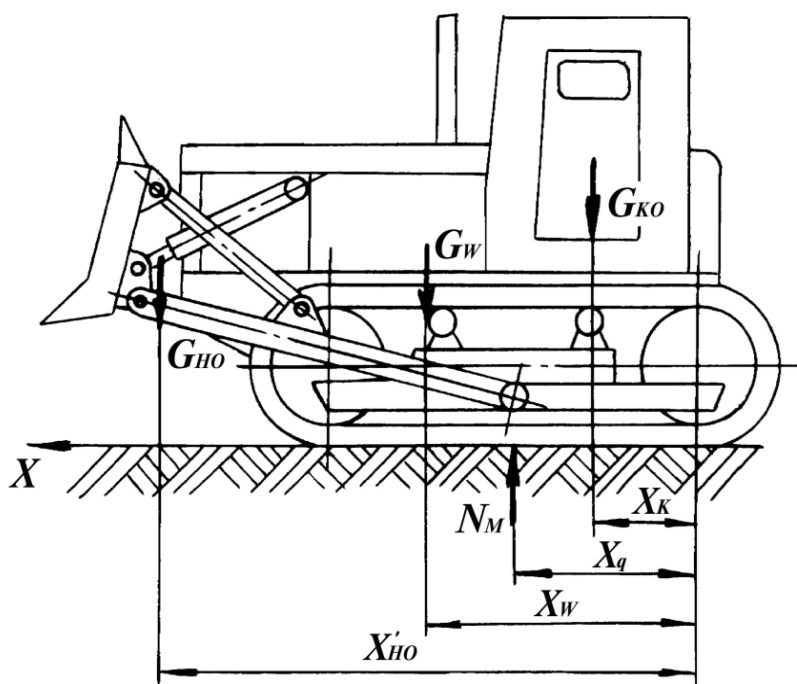
Для рабочих режимов резания и транспортировки призмы волочения рекомендуется принять:

$R_x \approx 0,6T_{ном}$  – горизонтальная составляющая результирующей силы сопротивления на отвале,

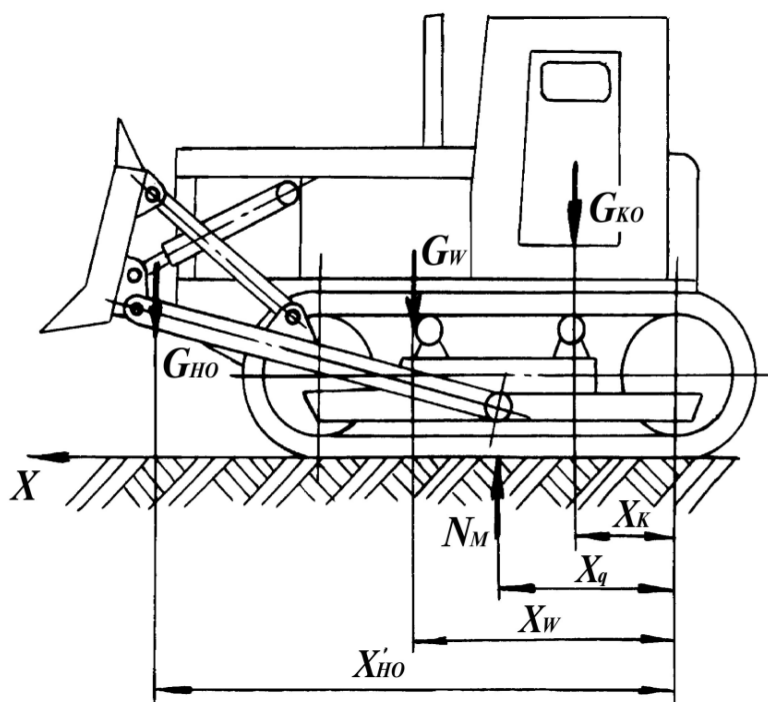
$R_z = R_x tg(\xi)$  – вертикальная составляющая результирующей силы сопротивления на отвале,

$\xi \approx 17^0$  – угол наклона результирующей силы копания на плотном грунте (при копании рыхлого грунта и транспортировке его в траншее  $\xi = 0$ ),

$h_R$  – высота точки приложения результирующей силы сопротивления копанию (для плотного грунта  $h_R \approx 0,17H_{po}$ , для рыхлого грунта  $h_R \approx 0,27H_{po}$ , где  $H_{po}$  – высота отвала без козырька).



*a*

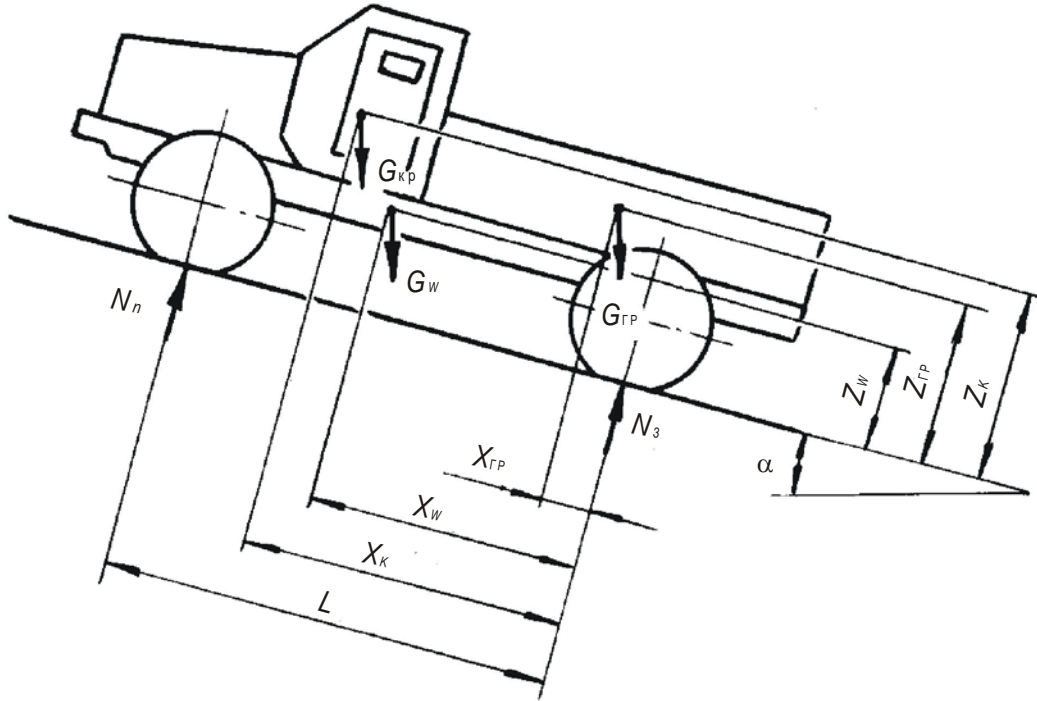


*б*

**Рис. 3.12.** Схемы сил, действующих на бульдозер:  
*a* – в транспортном режиме;  
*б* – при срезании грунта и транспортировке призмы волочения

## Колесная машина

Вес кабины колесной машины ограничен допустимыми нагрузками на колесное шасси. Отличительной особенностью колесных машин является наличие дополнительного условия по управляемости. Для этого рассмотрим общий случай движения двухосной грузовой машины по негоризонтальной дороге (рис. 3.13).



**Рис.3.13.** *Схема сил, действующих на колесную машину на подъеме*

Допустимый интервал веса защитной кабины с оборудованием и экипажем можно определить из системы уравнений: первое и второе моменты от всех сил и реакций, относительно оси, соответственно, задних и передних колес; третье и четвертое – условие управляемости и проходимости; пятое ограничение нагрузки на передние и задние колеса:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_q = (G_W X_W + G_{KO} X_K + G_{HO} X_{HO} + R_Z l + R_X h_P) / N_M \\ X_q \in [L / 3; 2L / 3] \\ G_{KO} = G_M^* - G_W - G_{HO} - R_Z \\ G_M^* \leq G_{M \max}^* \end{array} \right. , \quad (3.15)$$

где  $G_w, G_k, G_{rp}, G_m$  – вес, соответственно, шасси, кабины, перевозимого груза и машины в целом;

$X_w, X_k, X_{rp}$  – продольная координата центра масс шасси, кабины и перевозимого груза, относительно задней оси;

$Z_w, Z_k, Z_{rp}$  – вертикальная координата центра масс шасси, кабины и перевозимого груза относительно грунта;

$N_n, N_3$  – нормальная нагрузка (реакция) на ось передних и задних колес;

$G_n^*, G_3^*$  – предельно допустимая по грузоподъемности нагрузка на переднюю и заднюю ось;

$\pm$  – верхний знак соответствует движению на подъем, нижний – под уклон.

Выразим вес кабины с оборудованием и экипажем из системы (3.15).

$$\left\{ \begin{array}{l} G_{KO} \in \left[ \frac{0,2G_M L \cos\alpha - G_W (X_W \cos\alpha \pm Z_W \sin\alpha) - G_{ГП} (X_{ГП} \cos\alpha \pm Z_{ГП} \sin\alpha)}{X_K \cos\alpha \pm Z_K \sin\alpha}, \right. \\ \left. \frac{G_{II}^* L - G_W (X_W \cos\alpha \pm Z_W \sin\alpha) - G_{ГП} (X_{ГП} \cos\alpha \pm Z_{ГП} \sin\alpha)}{X_K \cos\alpha \pm Z_K \sin\alpha} \right] \\ G_{KO} \in \left[ \frac{0,4G_M L \cos\alpha - G_W ((L - X_W) \cos\alpha \mp Z_W \sin\alpha) - G_{ГП} ((L - X_{ГП}) \cos\alpha \mp Z_{ГП} \sin\alpha)}{(L - X_K) \cos\alpha \mp Z_K \sin\alpha}, \right. \\ \left. \frac{G_3^* L - G_W ((L - X_W) \cos\alpha \mp Z_W \sin\alpha) - G_{ГП} ((L - X_{ГП}) \cos\alpha \mp Z_{ГП} \sin\alpha)}{(L - X_K) \cos\alpha \mp Z_K \sin\alpha} \right]. \end{array} \right. \quad (3.16)$$

Вес кабины с оборудованием и экипажем для колесной грузовой машины должен находиться в допустимых интервалах веса системы (3.16) для всех расчетных случаев приведенных ниже:

- а) машина без груза стоит на горизонтальной площадке;
- б) машина с грузом стоит на горизонтальной площадке;
- в) машина без груза стоит на предельном уклоне;
- г) машина без груза стоит на предельном подъеме;
- д) машина с грузом стоит на предельном уклоне;
- е) машина с грузом стоит на предельном подъеме.

Для получения максимально возможного веса кабины нагрузка, приходящаяся на передние и задние колеса машины, должна быть равна соответствующей предельно допустимой нагрузке. У груженой машины наиболее просто этого условия можно достичь изменением координат центра тяжести перевозимого груза

$$X_{ГР} = \frac{G_{\Pi}^* L - G_W X_W - G_{КО} X_K}{G_{ГР}}, \quad (3.17)$$

где  $G_{КО}$  – вес кабины с оборудованием и экипажем, рассчитанный для машины без груза.

Вес кабины с оборудованием и экипажем также необходимо проверить по формулам (3.18), (3.19) и при необходимости откорректировать.

При наличии поперечного смещения центра тяжести нагрузка на колеса левой, правой стороны автомобиля не должна превышать их грузоподъемность

$$G_M (0,5 + |Y_C| / B) \leq \frac{G_{\Pi}^* + G_3^*}{2} \quad (3.18)$$

Поперечную устойчивость колесной машины (см. рис. 3.11) можно оценить по формуле:

$$tg\beta_{lim} \leq (0,5B - |Y_C|) / Z_C \quad (3.19)$$

Для автомобиля с грузом  $\beta_{lim} \approx 35^\circ$ .

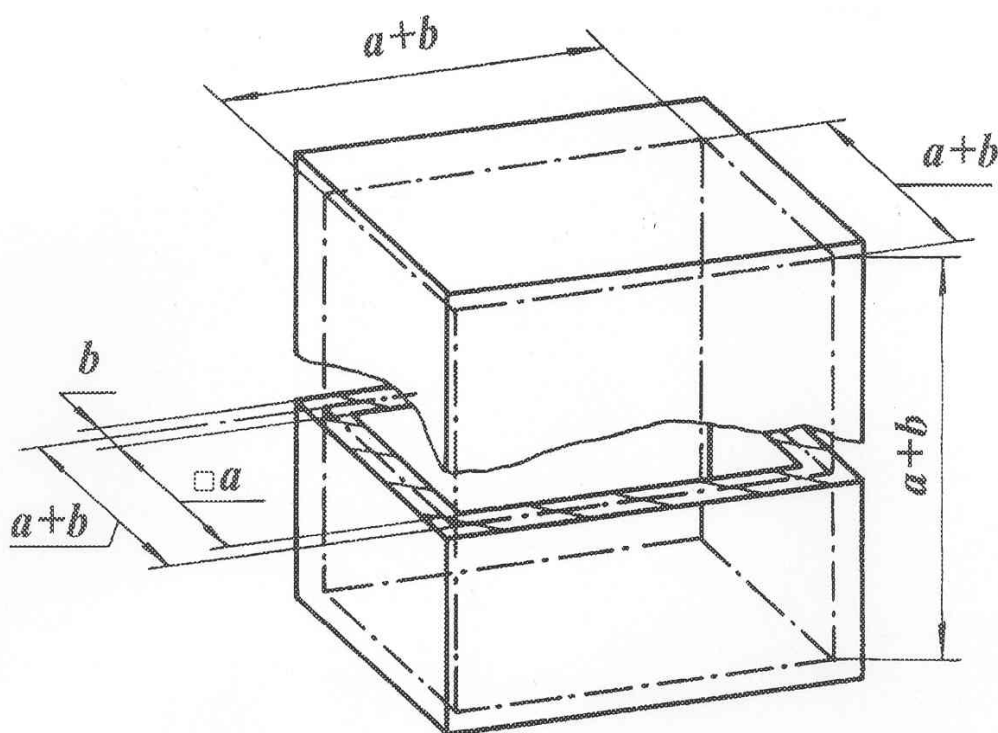
У трехосных автомобилей распределение нормальных нагрузок между колесами зависит, помимо прочих факторов, от системы подвески среднего и заднего ведущих мостов к раме автомобиля. При обычной подвеске указанных мостов на общей балансирной тележке с реактивными штангами, трехосный автомобиль может рассматриваться как двухосный, продольная база которого равна расстоянию между осью передних колес и осью качания задней тележки, а нормальная реакция дороги на колеса

задней тележки равна сумме нормальных реакций дороги на средний и задний мосты, исходя из условия равновесия тележки относительно своей оси качания.

### 3.5.2. Определение толщины стенок кабины, в зависимости от ее массы, объема, конструкции стенок и размещения экипажа

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 (рис. 3.14).



*Рис. 3.14. Упрощенное изображение кабины в виде куба,  
« $a$ » – размер по средней линии толщины куба,  
« $b$ » – толщина стенки куба.*

Выведем значение толщины стенки в зависимости от внутреннего объема  $V_{BH}$  и массы кабины  $M_K$  из системы уравнений для нахождения объема куба (внутреннего объема кабины), площади поверхности стенок  $S_{CT}$ , выполненных в форме квадрата, у которого сторона проходит по средней линии толщины стенки, и массы кабины в зависимости от площади поверхности стенок:

$$\begin{cases} V_{BH} = a^3 \\ S_{CT} = 6(a + b)^2 \\ M_K = bS_{CT}\rho \\ a > 0; b > 0; M_K > 0, \end{cases} \quad (3.20)$$

где  $a$  – сторона куба - внутреннего объема кабины;  $b$  – толщина стенки;  $\rho$  – плотность материала стенки.

Подставляя первое и второе уравнение системы (3.20) в третье уравнение той же системы и преобразуя его получим:

$$b^3 + 2b^2V_{BH}^{1/3} + bV_{BH}^{2/3} - M_K / 6\rho = 0 \quad (3.21)$$

Уравнение (3.21) имеет одно действительное решение, так как его дискриминант с учетом четвертого условия системы (3.20) всегда больше нуля.

Найдем значение толщины стенки из уравнения (3.21) используя формулу Кардана:

$$b = \sqrt[3]{\frac{V_{BH}}{27} + \frac{M_K}{12\rho} + \sqrt{\frac{V_{BH}M_K}{162\rho} + \frac{M_K^2}{144\rho^2}}} + \sqrt[3]{\frac{V_{BH}}{27} + \frac{M_K}{12\rho} - \sqrt{\frac{V_{BH}M_K}{162\rho} + \frac{M_K^2}{144\rho^2}}} - \frac{2 \cdot \sqrt[3]{V_{BH}}}{3}. \quad (3.22)$$



## Определение внутреннего объема кабины.

Кабина машины, работающей на РЗМ, должна обеспечивать высокий уровень ПРЗ оператора при выполнении эргономических и других требований, предъявляемых к размещению оператора и внутреннего оборудования.

Требования к размещению оператора, внутреннему оборудованию, приводам управления машиной и рабочим оборудованием у такой машины аналогичны соответствующим требованиям машины без ПРЗ [50, 56, 57, 118], при этом допускается корректировка ряда параметров как у спецмашины [210, 219, 237].

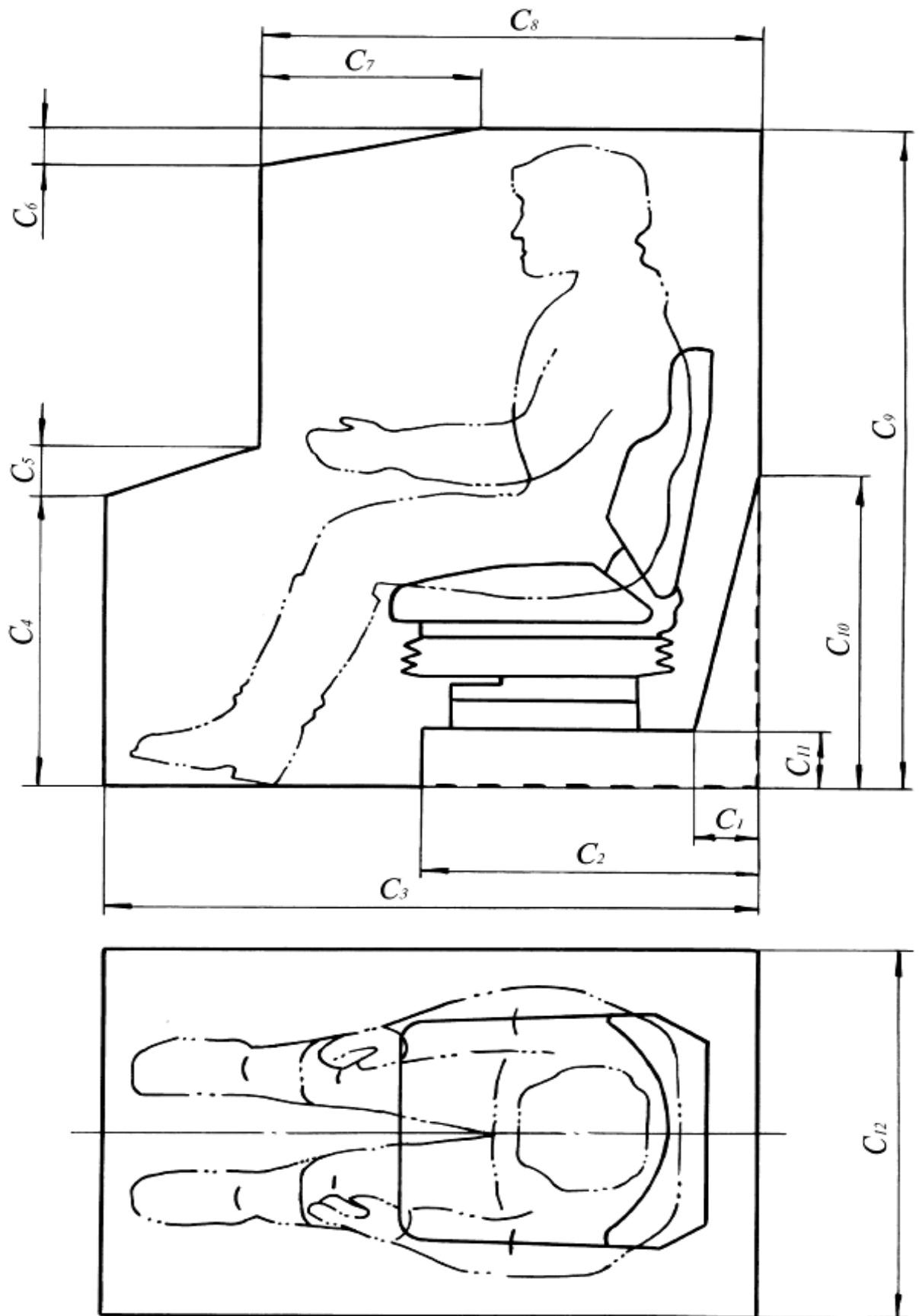
Внутренний объем реальной кабины в основном задается размерными зависимостями между размещением водителя-оператора (экипажа), механизмами управления машины и внутренним оборудованием кабины [50, 57, 66, 219].

В самом общем случае внутренний объем кабины можно определить как сумму объемов размещенных в ней членов экипажа и оборудования

$$V_{BH} = V_{\exists} + k_V \sum_{i=1}^n V_{оби}, \quad (3.23)$$

где  $k_V = 1,2...1,5$  – коэффициент использования внутреннего объема, учитывающий зазоры между находящимися в кабине экипажем и оборудованием.

Для размещения водителя – оператора землеройной машины, трактора с сиденьем, органами управления движением машины и работы навесного оборудования необходим объем не менее  $1,12 \text{ м}^3$  (рис. 3.15, табл. 3.10), для других членов экипажа с сиденьями не менее  $0,62 \text{ м}^3$ . Расчеты параметров, введенные в таблицы, сделаны в соответствии с основными размерами кабин КГМ по государственным стандартам Российской Федерации [50; 56, 57, 219].



*Рис. 3.15. Основные размеры внутреннего объема одноместных кабин*

**Таблица 3.10**

*Расчетные размеры кабин КГМ, в том числе с минимальным внутренним объемом (1,12м<sup>3</sup>) по действующим ГОСТам*

	Основные размеры внутреннего объема кабины, мм (по рис. 2.13)												объем, м <sup>3</sup>
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	
а	0	0	1184	640	91	92.5	434	934	1392	0	0	1134	1,646
б	110	650	1147 <sup>x3</sup>	600	100	100	400	900 <sup>x1</sup>	1345 <sup>x1</sup>	645 <sup>x2</sup>	120	900 <sup>x1</sup>	1,12

*а – вариант кабины, установленный на базовом шасси тракторов Т – 170 и ДЭТ-250.*

*б – вариант кабины, построенный по минимальным размерам с учетом ГОСТов на размещение экипажа.*

*x<sup>1</sup>, x<sup>2</sup> – соответственно, минимальные и максимальные размеры, регламентированные ГОСТ 27250-87, ГОСТ 12.2.120-88.*

*x<sup>3</sup> – минимальный размер, регламентированный ГОСТ 27250-87 и РЭО СВ-80.*

### **Расчет уровня ПРЗ кабины с разной толщиной стенок**

Противорадиационная защита кабины определяется материалом и толщиной защитных стенок-панелей. В начале раздела 3.5.2 приведена методика расчета уровня защиты оператора машины стенками теоретической кабины равной толщины. Однако защита кабины реальной машины чаще всего выполняется дифференцированной (с разной толщиной стенок). Рассмотрение особенностей расчета при переходе от кабины теоретической к кабине реальной приведено в статьях [69, 70].

При постоянной массе кабины, определяемой характеристиками машины (в первую очередь грузоподъемностью ходовой части), 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.

В зависимости от особенностей работы на радиоактивно зараженной местности (в том числе расположения источников ГИ), места расположения кабины на шасси, назначения машины обычно применяются следующие характерные изменения по уровню (толщине) защиты отдельных проекций (стенок кабины):

а) уменьшена толщина крыши кабины КГМ – так как вероятность нахождения источника излучения под углами к плоскости крыши, близкими к  $90^\circ$ , практически равна нулю, а защита верхней проекции от источников, находящихся под другими углами к крыше, обеспечивается меньшей толщиной защиты, поэтому, как правило, толщина крыши на 30% меньше толщины боковых стенок;

б) уменьшена толщина панелей, у которых дополнительной защитой от излучений могут служить узлы и агрегаты шасси, например, пол защитной кабины, установленной на бульдозерах на базе большинства гусеничных промышленных тракторов (в том числе Т-170, Т10 и ДЭТ-250);

в) увеличена толщина задней стенки кабины для грузового автомобиля, так как, чаще всего, наиболее высокий уровень излучения имеет груз, размещенный за кабиной в кузове.

Рассмотрим общий случай, когда все защитные стенки-панели имеют разную толщину. Учитывая, что при одинаковых параметрах  $V_{ВН}$ ,  $M_k$  и  $\rho$  сумма масс (толщин) стенок-панелей кабины с различной толщиной должна быть равна сумме масс (толщин) стенок-панелей кабины одной толщины, и, что кабина в форме куба имеет шесть панелей, получаем:

$$b_1 + \sum_2^6 b_i = 6b \quad (3.24)$$

где  $b_1$  – толщина любой панели, взятая за базовую;

$i$  – условный порядковый номер панели;

$b_i$  – толщина  $i$  панели.

Задаваясь отношением  $c_i = b_i / b_1$  с учетом формул (3.22) и (3.24) получаем следующие уравнения для нахождения толщины стенок кабины с разным уровнем защиты проекций:

$$\left\{ \begin{aligned}
 b_1 &= \frac{6b}{1 + \sum_{i=2}^6 c_i} = \frac{6 \cdot \left( \sqrt[3]{\frac{V_{BH}}{27} + \frac{M_k}{12\rho} + \sqrt{\frac{V_{BH} M_k}{162\rho} + \frac{M_k^2}{144\rho^2}} + \right.}{1 + \sum_{i=2}^6 c_i} + \\
 &\left. \sqrt[3]{\frac{V_{BH}}{27} + \frac{M_k}{12\rho} - \sqrt{\frac{V_{BH} M_k}{162\rho} + \frac{M_k^2}{144\rho^2}} - \frac{2 \cdot \sqrt[3]{V_{BH}}}{3}} \right) \\
 b_i &= c_i \cdot b_1
 \end{aligned} \right. \quad (3.25)$$

Зная толщину каждой из защитных стенок-панелей можно легко определить уровень противорадиационной защиты различных проекций кабины от источников излучения с любого направления.

Расчетные значения изменения ПРЗ при уменьшении толщины отдельных панелей у конкретных КГМ приведены в разделе 6.1 (табл. 6.2).

### Конструкция стенки кабины из разных материалов

Рассмотрим конструкцию защитных стенок-панелей из разных материалов, изображенную на рис. 3.16, установленную на шасси тракторов Т-170 и ДЭТ-250. Приведем конструкцию защитных стенок-панелей к однородному ПРМ, у которого:

а) толщина

$$b_{np} = \sum_{i=1}^n b_i \quad (3.26)$$

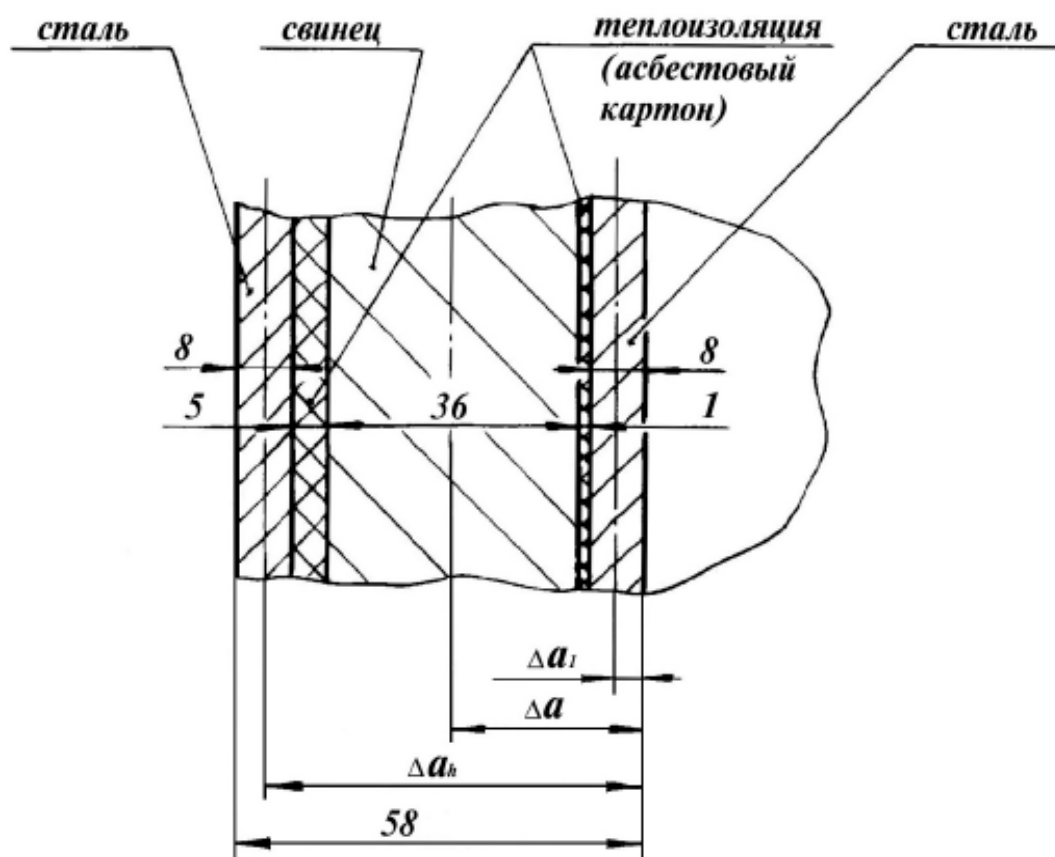
где  $b_i$  – толщина  $i$  защитного слоя;

$n$  – число защитных слоев.

б) плотность

$$\rho = \sum_{i=1}^n b_i \rho_i / \sum_{i=1}^n b_i \quad (3.27)$$

где  $\rho_i$  – плотность  $i$  защитного слоя.



*Рис. 3.16. Конструкция ПРЗ стенок-панелей кабин (размеры в мм)*

в) расстояние от внутренней стороны стенки до средней линии толщины однородного ПРМ

$$\Delta a = \sum_{i=1}^n \Delta a_i \rho_i / \sum_{i=1}^n \rho_i \quad , \quad (3.28)$$

где  $\Delta a_i$  – расстояние от внутренней стенки кабины до средней линии толщины  $i$  защитного слоя.

После приведения многослойной защиты (различные материалы, плотность и уровни ПРЗ) к однородному ПРМ определяем, по известному внутреннему объему кабины, основные габаритно-массовые расчетные параметры кабины в виде куба.

С точки зрения ПРЗ многослойную защиту обычно приводят к эквивалентной защите по стали или свинцу.

## **Зависимость уровня ПРЗ кабины от количества и размещения экипажа**

Внутренний объем и форма кабины для машин, работающих на РЗМ, как правило, определяется расположением и размерами рабочих мест экипажа (для одного оператора – см. раздел 3.5.2, формула 3.23, рис. 3.15, табл. 3.10).

Главная задача компоновки кабины для таких машин – получение высокого уровня ПРЗ экипажа при выполнении эргономических и других требований, предъявляемых к размещению оператора и внутреннего оборудования кабины.

Минимально допустимый внутренний объем кабины, при рациональном соотношении размеров, сокращает площадь защитных стенок-панелей и позволяет получить максимально возможный уровень защиты при заданной массе, отводимой на кабину, зависящей в первую очередь от грузоподъемности базового шасси.

Наиболее плотная компоновка внутреннего пространства кабины с минимальным объемом, занимаемым каждым членом экипажа, обеспечивающим его нормальное функционирование, и зазорами между находящимися в кабине экипажем и оборудованием, достигается выполнением кабины по минимальным размерам:

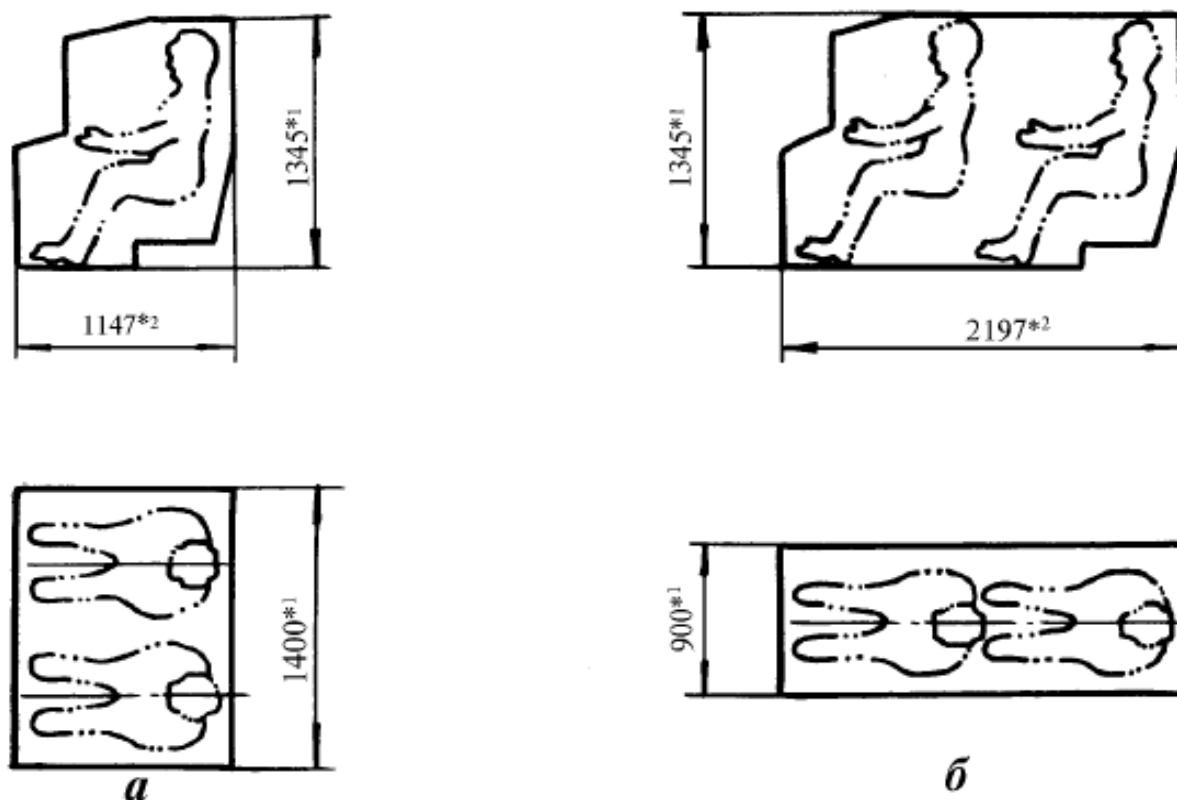
- для автомобиля по ГОСТ 7734 [50];
- для тракторов по ГОСТ 27250 и ГОСТ 12.2.120 [56, 57].

Эти ГОСТы использовались при разработке различных образцов машин, применявшихся для ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.

В методике, изложенной в начале раздела 3.5.2, при заданном внутреннем объеме и ограничениях по форме кабины, минимальная площадь защитных стенок-панелей, а, следовательно, и рациональная форма кабины (в том числе с максимально возможным уровнем защиты от радиоактивных излучений) достигается у кабины в виде куба.

Однако форма реальной кабины определяется не только антропометрическими параметрами человека и возможностью получения высокого уровня защиты от ГИ, но и общей компоновкой машины, поэтому не всегда возможно получить рациональное соотношение размеров кабины.

Рассмотрим более подробно влияние размещения одного и двух операторов на внутренний объем кабины и площадь поверхности защитных стенок-панелей (табл. 3.12, рис. 3.15, 3.17) [69]. Экипаж в количестве более двух человек у машин, работающих на РЗМ, практически не применяется.



**Рис. 3.17.** Основные размеры (в мм) внутреннего объема двухместных кабин при различных вариантах размещения экипажа:  
*а* – поперечное; *б* – продольное.

\*1 – минимальные размеры по ГОСТ 27250-87,

\*2 – минимальные размеры по ГОСТ 12.2.120-88 и РЭО СВ-80.

Остальные размеры см. рис. 3.15, табл. 3.10



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-панелей...

Так как обычно внутренние размеры кабины значительно больше толщины ПРМ и разница толщин ПРМ стенок, пола и крыши незначительна (мало влияет на форму можно кабины), то рациональность соотношения размеров реальной кабины оценивать по площади поверхности ее внутреннего объема. Результаты расчета приведены в табл. 3.11...3.13.

**Таблица 3.11**

*Минимальный внутренний объем реальной кабины и площадь его поверхности в зависимости от количества и схемы размещения экипажа*

Численность экипажа	Вариант размещения экипажа	Внутренний объем кабины $V_{вн}, \text{м}^3$	Площадь поверхности внутреннего объема кабины $S_{p\text{ вн}}, \text{м}^2$	Отношение площадей поверхности внутреннего объема реальной кабины к идеальной при одинаковом внутреннем объеме $k_{р.э.} = \frac{S_{p\text{ вн}}}{S_{вн}}$
1	Рис. 1	1,12	6,734	1,04
2	Рис. 2а	1,742	9,092	1,05
	Рис. 2б	2,391	11,449	1,07

**Таблица 3.12**

*Площади поверхности внутреннего объема идеальной кабины (в форме куба)*

Внутренний объем кабины $V_{вн}, \text{м}^3$	Длина стороны внутреннего объема кабины $a = \sqrt[3]{V_{вн}}, \text{м}$	Площадь проекции внутреннего объема кабины $S_{i\text{ вн.}} = a^2, \text{м}^2$	Площадь поверхности внутреннего объема кабины $S_{вн} = 6a^2, \text{м}^2$
1,120	1,039	1,080	6,489
1,742	1,203	1,447	8,682
2,391	1,337	1,788	10,728

**Таблица 3.13**

*Площадь различных проекций внутреннего объема реальной кабины в зависимости от количества и размещения экипажа*

Проекция кабины	Вариант размещения экипажа					
	один оператор		два оператора (поперечное размещение)		два оператора (продольное размещение)	
	$S_p, \text{ м}^2$	$k_i = \frac{S_{pi}}{S_{pi}^*}$	$S_p, \text{ м}^2$	$k_i = \frac{S_{pi}}{S_{pi}^*}$	$S_p, \text{ м}^2$	$k_i = \frac{S_{pi}}{S_{pi}^*}$
Передняя (задняя)	1,211	1,12	1,883	1,30	1,211	0,68
Правая (левая)	1,244	1,15	1,244	0,86	2,657	1,49
Верхняя (нижняя)	1,032	0,96	1,606	1,11	1,977	1,11

где  $S_p^*$  – площадь поверхности стенок идеальной (расчетной) кабины с равной толщиной стенок,  $k_i$  – отношение реальной площади внутренней поверхности кабины  $S_p$ , к идеальной  $S_p^*$  в виде куба.

Увеличенная площадь поверхности реальной кабины  $S_p$ , или отдельной ее проекции, по сравнению с соответствующей площадью кабины идеальной (теоретической)  $S$ , при одинаковом внутреннем объеме и массе кабин, приведет к уменьшению толщины стенок-панелей. Эта зависимость выражается следующим соотношением:

$$\frac{(a+b_p)^2}{(a+b)^2} = \frac{S}{S_p} = \frac{1}{k_p} \quad (3.29)$$

где  $b_p, b$  – толщина стенок-панелей, соответственно, реальной и идеальной кабины.

Определив параметры идеальной кабины (начало раздела 3.5.2) и, зная соотношение площадей поверхностей внутреннего объема (табл. 3.11... 3.13), с учетом формул (3.22, 3.25, 3.29) довольно точно находится толщина ПРМ реальной кабины:

– при одинаковой толщине стенок-панелей:

$$b_p = \frac{1}{\sqrt{k_{p.э.}}} (a + b) - a \quad (3.30)$$

– при разной толщине стенок-панелей:

$$b_{pi} = \frac{1}{\sqrt{k_{p.э.} k_{pi}}} (a + b_i) - a, \quad (3.31)$$

где  $b_{pi}$ ,  $b_i$  – толщина  $i$  стенки-панели, соответственно, реальной и идеальной кабины.

С меньшей степенью точности формулы (3.30, 3.31) можно использовать при определении толщины ПРМ для реальной кабины, в которой применяются другие размеры рабочих мест экипажа или установлено внутреннее оборудование, требующее дополнительный объем. При этом необходим пересчет размера « $a$ » – длины стороны внутреннего объема идеальной кабины.

В заключение отметим следующие особенности влияния размещения экипажа на форму кабины и толщину ПРМ (уровень ПРЗ):

- форма одноместной кабины наиболее близка к идеальной;
- у двухместных кабин наилучшие показатели ПРЗ, при прочих равных условиях, имеет кабина с поперечным размещением экипажа;
- продольная посадка экипажа может иметь лучшие показатели ПРЗ только при использовании ее в кабинах с более высоким уровнем защиты передней или задней проекции, например, для грузовых машин, у которых задняя стенка, защищающая от излучений груза, обычно имеет, по сравнению с другими проекциями, больший уровень ПРЗ (толщину ПРМ).

Дальнейшее развитие методики расчета основных параметров защитных кабин должно быть направлено на учет особенностей компоновки внутреннего объема, конструкции и технологии изготовления кабин, то есть на создание вероятностного статистического расчета и уточнение коэффициентов перехода от теоретической, идеальной кабины к кабине реальной.

Примеры использования методики для расчета параметров конкретных машин с ПРЗ приведены в шестой главе.

Преобразуя эту методику в другие подобные, можно на ранней стадии проектирования расчетным путем решать целый ряд задач, стоящих перед конструктором:

- выбирать необходимые основные параметры машины для работы на РЗМ исходя из грузоподъемности базового шасси;
- проверять возможность изменения (модернизации) отдельных параметров и оценивать их влияние на другие основные параметры, в том числе защиты оператора от ГИ РЗМ;
- определять максимально возможный уровень ПРЗ оператора у конкретных КГМ.

Данные, полученные в результате решения этих задач, являются основой технико-экономической оценки эффективности КГМ с ПРЗ (приведенной во второй главе), в том числе на конкретной технике для заданных условий РЗМ и требований заказчика (приведенные в шестой главе).

### **3.3.3. Проверка сходимости основных параметров реальной кабины и рассчитанных по предлагаемой методике**

В качестве примера проверки сходимости основных габаритно – массовых параметров реальной кабины и рассчитанных по методике (формула 3.22) рассмотрим одноместную кабину с защитой оператора от ионизирующих излучений (с одинаковой толщиной стенок, пола и потолка), установленную на базовом шасси тракторов Т-170 и ДЭТ-250 (см. рис. 3.15, табл. 3.10).

Внутренний объем кабины на рис. 3.15 с размерами в таблице 3.10 равен 1,646 м<sup>3</sup>, так как кроме рабочего места водителя – оператора, органов управления движением машины и работы с навесным оборудованием внутри кабины дополнительно установлены отопитель и кондиционер.

Сравним расчетные параметры с параметрами реальной кабины, полученными путем обмеров и взвешивания. Результаты расчетов приведены в табл. 3.14. Подобные результаты по сходимости расчета были получены и при оценке других кабин с количеством операторов до двух человек [69, 87], оценка этих результатов приведена далее по тексту.

**Таблица 3.14.**

*Основные габаритно-массовые параметры защитной кабины (реальной и рассчитанной по методике)*

Форма кабины	Внутренний объем $V_{вн}$ , м <sup>3</sup>	Параметры однородного ПРМ		Площадь поверхности стенок $S_p$ (по средней линии толщины однородного ПРМ)	Масса кабины $M_{ко}$ , кг
		Толщина стенки $b_{но}$ , м	Плотность $\rho_{но}$ , кг/м <sup>3</sup>		
реальная	1,648	0,058	9332	9,352	5281 <sup>*1</sup> (5062 <sup>*2</sup> )
идеальная				9,206	4983 <sup>*2</sup>

\*1 – чертежная масса защитной кабины

\*2 – расчетная масса защиты кабины по формуле  $M_{ко} = S_p b_{но} \rho_{но}$

Из табл. 3.14 видно, что расхождение расчетной оценки от реальной конструкции незначительно. Несколько большая разница по массе реальной кабины, по сравнению с расчетной и идеальной, объясняется тем, что в расчетах не учтены ряд узлов и деталей (петли дверей, поручни...), разница масс защитных стекол и самих панелей, а также масса защитных элементов ослабленных зон машины (стыки стенок, места проемов дверей и окон, проходы тяг, проводов, трубопроводов). Проверка различных защитных кабин отличающихся внутренним объемом, количеством операторов (не более двух), с различным оборудованием, размещенным внутри кабины, также показала удовлетворительную сходимость [69, 87] рассчитанных по методике (с формой кабины в виде куба) основных габаритно-массовых показателей с соответствующими параметрами реальных кабин. **Максимальное расхождение результатов по расчету и у реальной кабины не превышало 9%, что вполне приемлемо для оценки параметров кабины.**

### 3.5 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Разработана методика оценки влияния узлов шасси на ПРЗ оператора при минимуме исходных данных.

Предлагается при оценке ПРЗ от ГИ грунта РЗМ узлами шасси КГМ вместо рассмотрения всех основных металлоемких узлов шасси (порядка 300 шт. и более) рассматривать две условные укрупненные модели:

– типа «автомобиль», для грузовых автомобилей и техники на их базе (практически из основных металлоемких узлов большой площади только двигатель и КПП обеспечивают ПРЗ оператора снизу) – модель в виде двух стальных параллелепипедов с размерами по длине и ширине, равными размерам соответствующих узлов (двигатель и КП с муфтой сцепления), с толщиной, приведенной к размерам соответствующего экрана и массе узла, и положением центра тяжести, совпадающим с центром тяжести узла;

– типа «трактор», для инженерных машин на базе тракторов и погрузчиков (практически все узлы трансмиссии обеспечивают ПРЗ оператора снизу) – модель в виде стального параллелепипеда с размерами по длине и ширине равными соответствующим размерам шасси в плане, с толщиной, соответствующей приведенной к размерам экрана массе шасси, с положением центра тяжести от грунта, совпадающим с центром тяжести шасси.

1.1. Предложено защиту в расчетных точках от ГИ грунта элементами шасси определять, используя основной расчетный параметр – эквивалентную защищающую толщину шасси по стали. Для известных грузовых автомобилей эта толщина составляет 90...120 мм; у гусеничных тракторов класса 10...25 тонн эта толщина составляет 180...220 мм.

1.2. Увеличение радиуса излучающего диска и уменьшение энергии поля ГИ приводит к уменьшению влияния излучения из зоны, перекрытой шасси, на мощность дозы в расчетных точках.

1.3. При равномерном распределении радиоактивного источника на грунте для кругового поля ГИ РЗМ ( $r \geq 20$  м,  $E_\gamma \leq 2$  МэВ) с размерами источника больше размеров проекции шасси на грунт (образуемой лучами, проходящими из расчетной точки через края защитного экрана шасси) и габаритно-массовых параметрах защиты, характерных для шасси автомобилей и гусеничных тракторов класса 10...25 тонн:

– более 90% дозы оператор получает из зоны, не перекрытой экраном шасси;

– рациональная толщина защитного экрана шасси (в том числе и с учетом локальной защиты) около 2 см по стали (для автомобиля) и 2,5 см (для трактора), дальнейшее увеличение толщины защитного экрана шасси незначительно увеличивает уровень защиты оператора.

1.4. Уровень защиты оператора от ГИ грунта зависит от места расположения кабины (оператора) на шасси.

Наилучшие показатели защиты имеет размещение оператора на оси, проходящей через центр защитного экрана шасси (в средней части машины). При удалении места расположения оператора от этой оси уровень защиты падает, причем, чем ближе к краю защитного экрана, тем значительнее.

У КГМ установка кабины на краю шасси, по сравнению с установкой в средней части, снижает уровень защиты оператора от ГИ грунта у автомобилей до 30%, у тракторов до 50%.

В реальных условиях РЗМ падение уровня защиты может достигать значительно больших значений.

2. Разработана методика оценки влияния узлов рабочего оборудования на ПРЗ оператора при минимуме исходных данных.

Методика позволяет исследовать вклад габаритно-массовых параметров и расположения этого оборудования на защиту в расчетных точках от ГИ РЗМ.

2.1. Увеличение габаритных размеров рабочего оборудования (длина, ширина) машины приводит к росту защиты оператора от ГИ грунта, близкому к линейному.

2.2. Увеличение толщины защиты, элементов оборудования, по ходу излучения с  $E = 0,8 \text{ МэВ}$  свыше 10 мм практически не влияет на кратность ослабления излучения.

2.3. Реальный уровень ПРЗ оператора узлами любого рабочего оборудования (отвала, рыхлителя, лебедки) не превышает 1,15 крат.

3. Разработана методика расчета основных параметров защитной кабины, увязанных с компоновкой машины, позволяющая на начальном этапе проектирования определять массу и внутренний объем кабины, толщину стенок-панелей и обеспечиваемый ими уровень защиты от ионизирующих излучений.

3.1. Масса кабины выбирается исходя из допустимых интервалов нагрузок на шасси для различных режимов работы машины.

3.2. Защитный экран кабины оператора моделируется в виде куба, толщина стенок которого определяется действительным решением уравнения третьей степени и зависит от массы и объема кабины, плотности материала стенок.

3.3. Получены формулы и коэффициенты зависимости толщины защитных стенок-панелей реальной кабины от изменения толщины ПРМ ее отдельных проекций, а также от количества и размещения экипажа.

4. На основе новых указанных математических моделей и методик расчета разработаны универсальные типовые методики определения параметров ПРЗ оператора КГМ. Полученные математические зависимости позволяют определять основные параметры машины и защиты оператора от ГИ (кратность ослабления излучения на рабочем месте, толщина ПРМ стенок кабины, масса ПРМ и др.) и зависимости этих параметров между собой для конкретных машин.



## **ГЛАВА 4. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ БАЗОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАШИН С УЧЕТОМ УСТАНОВКИ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ**

В четвертой главе предложен алгоритм определения основных технических параметров КГМ с ПРЗ, необходимых с точки зрения производительности (тяговых и скоростных характеристик машин, передаточных чисел трансмиссии, геометрических размеров рабочего оборудования и т.д.) и эффективности машины в целом. На все эти параметры машины влияет установка ПРЗ (в основном это влияние связано с увеличением массы машины и положением ее центра тяжести).

*Техническая производительность машины на РЗМ (изменение ее технических параметров для получения высокой производительности) может оцениваться (рассчитываться) только после определения необходимого уровня защиты оператора (массы ПРЗ и места ее установки) по ПД (в расчетных точках), не превышающей нормируемую ПДД.*

Технико-экономические показатели работающей машины в первую очередь определяются производительностью и экономичностью. Расчет этих параметров и ряда других технико-экономических показателей КГМ и выбор их оптимальных значений является одной из основных задач, стоящих перед конструктором, и рассмотрен в ряде работ [13, 15, 16, 33, 45, 62, 87, 90, 120, 145, 147, 148, 196, 220, 255, 266].

Главным критерием эффективности народнохозяйственной КГМ является его производительность [26, 87, 91, 93, 99...101, 196, 255, 266]. У машин с ПРЗ, особенно для работы на РЗМ с высокими уровнями излучения, уровень защиты от ГИ напрямую влияет на технические параметры машины и ее эффективность в целом.

Техническая производительность основных инженерных машин в основном определяется:

- для бульдозера объемом срезанного и перемещенного грунта в единицу времени;
- для грузового автомобиля массой перевозимого груза и расстоянием, которое при этом автомобиль проходит в единицу времени.

У рассматриваемых КГМ техническая производительность зависит от тяговых и скоростных характеристик и влияющих на них параметров машины, экономичность определяется себестоимостью выполненных работ.

Мероприятия по повышению уровня ПРЗ, как правило, ухудшают чисто технические характеристики машины и удобства ее эксплуатации. Увеличенный вес такой машины с ПРЗ снижает ее подвижность и маневренность, а уменьшение объема кабины и площади остекления отрицательно сказываются на управляемости техники. Все это ведет к снижению технической производительности, повышению утомляемости водителя-оператора.

В табл. 4.1 показаны данные по снижению производительности КГМ (за час чистого времени работы) после установки ПРЗ, без доработки базового шасси (при отсутствии или малом смещении ЦМ, раздел 4.3).

В колонке 1 табл. 4.1 данные из литературы [4], в колонках 2, 3 полученные на ЧТЗ при испытаниях сравнительно тихоходных гусеничных БРА: Б10, Б12 с ПРЗ с транспортной скоростью до 12 км/ч (подвеска с микродрессориванием), ДЭТ-250М2 с ПРЗ с транспортной скоростью 18км/ч (эластичная подвеска) [122, 125, 161, 199]. Данные получены, в том числе с мероприятиями по повышению производительности без изменения основных параметров базовых тракторов, в основном за счет улучшения обзорности из машин с ПРЗ установкой камер дополнительного обзора, оценка влияния обзорности на производительность из справочника [255].

**Таблица 4.1.**

*Снижение технической производительности машины с ПРЗ по сравнению с базовой машиной*

Уровень радиации на местности, Зв/ч	Варианты коэффициента снижения производительности, по уровню ПРЗ		
	1*	2**	3**
До 0,05	1,00	1,00	1,00
0,05...0,10	0,9...0,95	0,95	1,00
0,10...0,15	0,8...0,85	0,90	1,00
0,15...0,20	0,75...0,8	0,85	0,95

\* По работе Котляревского В.А., Забегаева А.В., Носача А.А. и др. [4].

\*\* Для машин на базе гусеничных промышленных тракторов, без мероприятий (колонка 2) и с мероприятиями (колонка 3) по повышению производительности, в т.ч. за счет установки камер дополнительного обзора (без изменения базовых параметров машины) [122, 125, 161, 199]

Для КГМ с ПРЗ оператора увеличение производительности (технического уровня) машины имеет смысл только при обеспечении необходимого уровня защиты оператора (массы ПРМ). Поэтому параметры технической характеристики машины с ПРЗ, обеспечивающие ее высокую производительность и топливную экономичность определяются с учетом соответствующего изменения габаритно-массовых параметров машины, связанных с использованием ПРЗ оператора.

На начальном этапе проектирования также необходим расчет и проверка допустимой массы кабины по нагрузкам на шасси, приведенные в разделах 3.5.1, 4.1.

В связи с увеличением массы агрегата за счет тяжелой кабины (с использованием ПРМ) задача обеспечения высокой эффективности и производительности требует анализа необходимых показателей тяговой характеристики, удельной мощности, удельного давления агрегата на грунт, поворотливости, емкости отвала и т.д.

При разработке конструкции с дополнительной установкой ПРЗ также необходим прочностной расчет основных элементов несущей, ходовой и других систем и их усиление при необходимости. Варианты прочностной оценки приведены в ряде работ [27, 40, 206, 207, 208, 217, 218 и др].

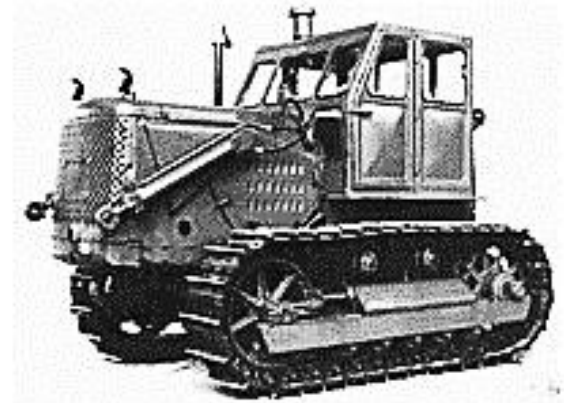
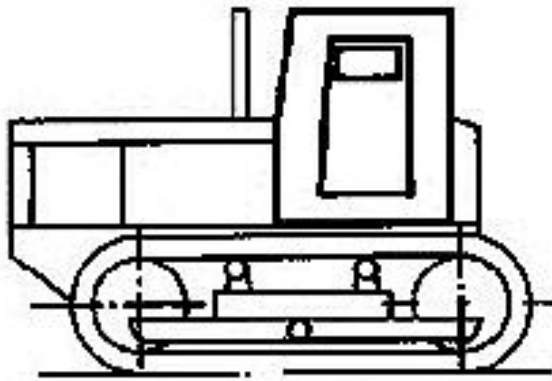
#### **4.1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ОБЩАЯ КОМПОНОВКА МАШИНЫ, РАБОТАЮЩЕЙ НА РАДИОАКТИВНО ЗАРАЖЕННОЙ МЕСТНОСТИ**

Известно влияние общей компоновки на основные параметры и характеристики обычных народнохозяйственных машин [10, 11, 13, 24, 94, 96, 135, 146, 242, 244 и др], подобное влияние характерно и для КГМ с ПРЗ. Однако компоновка машины с защитой от радиации имеет свои особенности, связанные, прежде всего, с установкой тяжелой защитной кабины). Оценивая место расположения кабины в машине, работающей на РЗМ, основное внимание следует уделить вопросам:

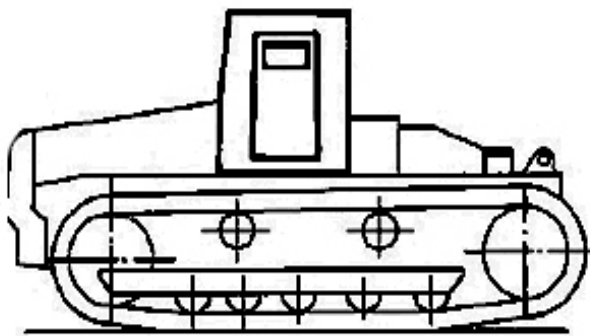
- влияния массы кабины на положение центра тяжести (центра давления) и тягово-скоростные характеристики машины;
- дополнительной защиты экипажа от радиации за счет перекрытия части ионизирующих излучений, направленных на кабину, базовым шасси и навесным оборудованием [78, 80, 81];
- прочностной оценке систем, прежде всего несущей и ходовой;
- возможности доступа к узлам базового шасси для обслуживания и ремонта.

##### **4.1.1. ГУСЕНИЧНАЯ МАШИНА**

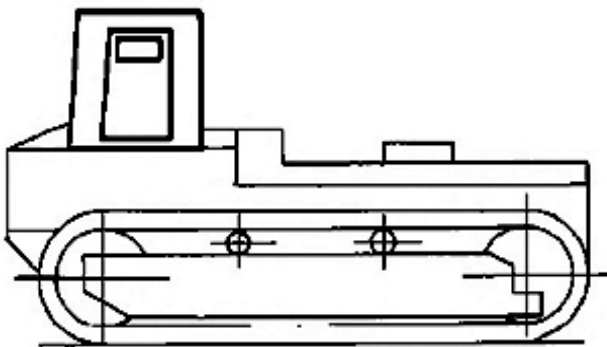
В качестве примера рассмотрим гусеничную машину на базе гусеничного промышленного трактора, у которого различают три основных варианта размещения кабины, изображенных на рис. 4.1. По ним, соответственно, выполнены компоновочные схемы основных промышленных тракторов, выпускаемых в России: Т-170 и Т10, ДЭТ-250... ДЭТ 400, Т-330 и др.



*а*



*б*



*в*

*Рис.4.1. Варианты размещения кабины гусеничной машины:*

*а – в кормовой части;*

*б – в средней части*

*; в – в носовой части.*

Кабина на машине должна устанавливаться таким образом, чтобы смещение центра давления машины от середины опорной поверхности гусениц для различных режимов работы не выходило за допустимые пределы (расчет допустимого смещения центра давления для гусеничных и колесных машин приведен в разделе 3.5.1).

*Из различных по назначению гусеничных машин на РЗМ наиболее часто применяется землеройная техника (прежде всего бульдозеры), у которой для транспортного и почти всех видов тяговых работ целесообразно размещение кабины в средней части машины. Это также позволяет, исходя из допустимого положения центра давления, получить максимально возможную массу кабины (максимально возможный уровень защиты от радиоактивных излучений по кабине).*

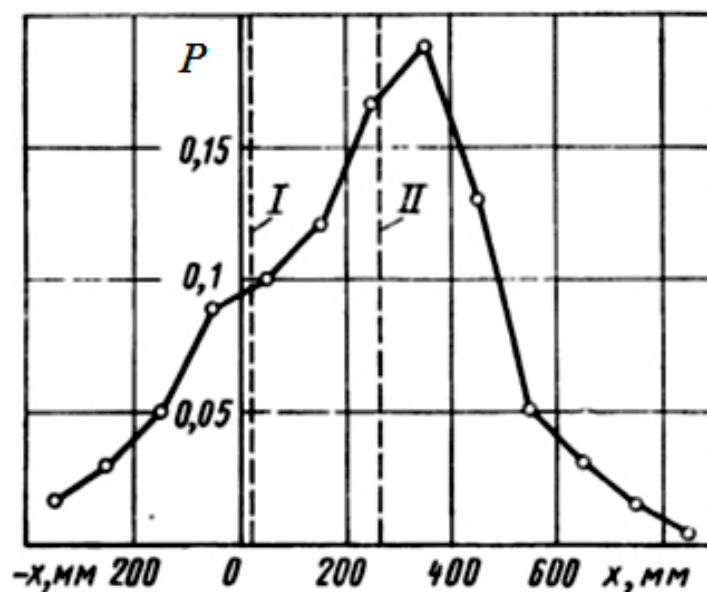
Интересной особенностью установки защитной кабины (вес в сборе с оборудованием около 6000 кг) на шасси трактора ДЭТ-250М2 стало то, что производительность работы бульдозера ДЗ-132-1КЗ на грунтах I..IV категорий оказалась выше на 3...5%, чем у базовой машины [199].

Очевидно, это связано с увеличением сцепного веса и благоприятным расположением центра давления машины.

Кабина на машине должна устанавливаться таким образом, чтобы смещение центра давлений от середины опорной поверхности гусениц не выходило за допустимые пределы на всех режимах работы.

Для тяговых и транспортных видов работ целесообразно размещение кабины в средней части машины.

Необходимо иметь в виду, что при установке рабочего оборудования и взаимодействии его с грунтом изменяется положение центра масс и сцепной вес агрегата (рис. 4.2). Это также (как и установка защитной кабины на базовое шасси) приводит к значительному изменению эпюры нормальных давлений и отражается на тяговых и скоростных свойствах машины.



**Рис. 4.2.** Вероятность  $P$  смещения  $x$  центра масс бульдозера относительно центра опорной поверхности [44]:  
 I – без оборудования (трактор); II – с оборудованием

### Влияние положения кабины на защиту от радиации

В таблицах 5.1 приводятся конкретные экспериментальные данные по уровню защиты оператора от ГИ РЗМ узлами КГМ, полученные на этапе государственных испытаний опытных образцов.

На рис. 6.1 и 6.2 изображены круговые диаграммы кратностей ослабления излучения от находящегося на грунте точечного источника ГИ, полученные при анализе результатов измерений бульдозеров на установке «Арка» [200]. Видно значительное влияние ослабленных зон кабины (в которых уровни защиты намного ниже соответствующих усредненных значений по бульдозеру) на защищенность оператора. Минимальная ПРЗ при прохождении излучения перпендикулярно защите [200] составляет 33 (для стекол) и 39 крат (для крыши кабины).

Для головы оператора эти зоны в основном определяются конструктивными особенностями кабины. Зоны в районе курсовых узлов  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  (для ДЗ-171.1КЗ) и  $210^\circ$  (для ДЗ-132-1КЗ) характеризуются прохождением радиоактивного излучения через окна кабины.

Следовательно, наиболее простое повышение уровня защиты от ГИ грунта у рассматриваемых бульдозеров в точке «А» достигается увеличением толщины свинцовистого стекла, установленного в окнах кабины.

Для низа живота оператора ослабленные зоны по защите в основном определяются местом установки кабины на шасси. Смещение одноместной защитной кабины вправо (по ходу движения) от продольной оси шасси трактора ДЭТ-250М2, определяемое серийным расположением оператора и приводов управления, приводит к ослаблению защищенности человека в точке «Б» от источников ГИ, находящихся справа от машины (курсовые углы 30...150°) (см. рис. 6.2).

Расчет по формуле (3.7) показывает, что: для ДЭТ-250 перенос одноместной кабины на 670 мм влево (типа ДЭТ-320) повышает уровень защиты оператора на 9%; для 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%.

Установка кабины в средней части гусеничного МТА при нахождении источников излучения на грунте с равномерным распределением радиоактивности обеспечивает эффективную ПРЗ оператора узлами и агрегатами шасси. Такая установка наиболее полно, со всех сторон, перекрывает самые опасные, с точки зрения расположения, источники, находящиеся в непосредственной близости от машины.

#### **4.1.2. Колесная машина**

Расчет и выбор параметров грузового автомобиля с ПРЗ на начальном этапе проектирования приведен в главах 2...4, 6 в том числе технико-экономическая оценка во второй главе и разделах 6.7, 6.8.

Установка ПРМ на грузовой автомобиль приводит [86]:

– к увеличению массы машины и нагрузки на колеса (оси), особенно передней оси (подробней см. раздел 3.5.1);



– к ухудшению эргономических условий работы оператора (уменьшению объема кабины, площади остекления...) и др.

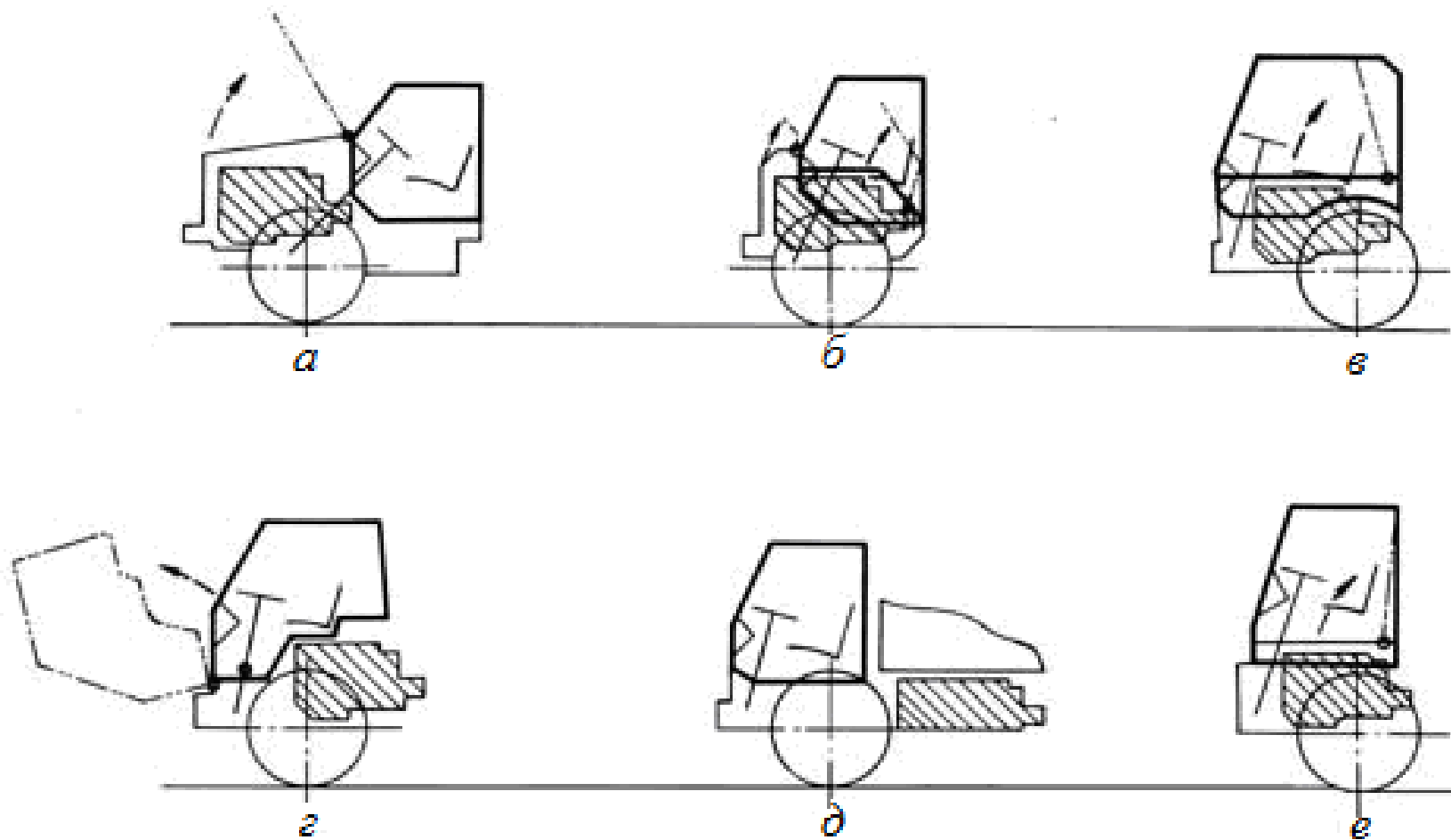
Увеличение массы кабины и нагрузок на оси у грузового автомобиля за счет установки ПРЗ приводит к ограничению проходимости (в т.ч. по давлению) [8, 19, 137, 141] и скорости передвижения, как правило, до 40... 50 км/ч, что в свою очередь приводит к снижению подвижности и маневренности машины [20, 225, 268 и др] и, соответственно, ее технической производительности.

Кабина в колесной машине должна располагаться таким образом, чтобы нагрузка на колеса (оси) для различных режимов работы не превышала допустимых значений (раздел 3.5.1).

Из различных по назначению колесных машин на РЗМ наиболее часто применяются машины для перевозки грузов. Поэтому более подробно рассмотрим установку защитной кабины на грузовую машину. При этом особое внимание следует уделить загрузке передней оси, так как именно ее, по сравнению с базовым автомобилем, дополнительно нагружает установка тяжелой кабины.

Возможны шесть основных вариантов размещения кабины на машине (рис. 4.3) [13, 87, 138]:

- а) кабина установлена за двигателем и колесами – классическая компоновка;
- б) кабина частично размещена за колесами и двигателем;
- в) кабина над колесами и двигателем, пол кабины расположен по обе стороны двигателя над колесами, доступ к двигателю, закрываемому кожухом, осуществляется из кабины;
- г) кабина над колесами и двигателем, с целью обеспечения доступа к двигателю выполнена откидывающейся;
- д) кабина установлена перед двигателем над колесами;
- е) кабина размещена над колесом рядом с двигателем.



*Рис. 4.3. Основные варианты размещения кабины грузового автомобиля:  
 а – кабина за двигателем; б, в, г, е – кабина над двигателем; д – кабина перед двигателем.*

Машины с расположением кабины над двигателем имеют несколько более высокий уровень ПРЗ оператора узлами шасси от ГИ грунта РЗМ.

Однако для грузовых машин, работающих на РЗМ, как правило, находящийся в кузове радиоактивный груз является основным источником излучений, защитой от которых для оператора (экипажа) служит защита от ГИ задней стенки кабины. Следовательно, уровень защиты экипажа грузовой машины в первую очередь определяется уровнем защиты кабины (которая часто выполняется с разным уровнем ПРЗ стенками кабины).

Можно выделить следующие моменты, характерные с точки зрения возможности установки защитной кабины на машину:

- по сравнению с классической компоновкой размещение тяжелой кабины вместе с двигателем над колесами приведет к значительно большей загрузке (перегрузке) передних колес базового шасси;

- для варианта «а», кроме относительно сравнительно низких нагрузок на передний мост (передние колеса), характерны простота формы кабины, удобство размещения экипажа;

- для вариантов «б» и «в» возможен «прострел» радиоактивного излучения через кожух над двигателем, поэтому на кожух также необходимо устанавливать ПРМ, наличие кожуха приводит к увеличению площади ПРМ в обитаемом объеме и соответственно массы защиты;

- для вариантов «б» и «в» установке одноместной кабины мешает двигатель, при этом кабина, размещенная над одним из колес, вызывает поперечное смещение центра тяжести машины;

- для варианта «г» наличие механизма опрокидывания кабины значительно усложняет конструкцию;

- при установке защитной кабины по варианту «д» по сравнению с вариантом «а» затруднен доступ к моторной установке и увеличена нагрузка на передние колеса, так как защитная кабина, как правило, тяжелее моторной установки;

– при расположении кабины над осью передних колес или даже впереди нее (варианты «б» ... «е») экипаж будет подвергаться воздействию больших вертикальных ускорений при продольных колебаниях автомобиля.

В соответствии с изложенным у колесных грузовых машин в зависимости от размещения шасси *наибольшую массу и, следовательно, уровень защиты при относительной простоте конструкции может иметь кабина, установленная по классической компоновочной схеме – за двигателем и колесами* (см. рис. 4.3а).

## **4.2. СВЯЗЬ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК С ГАБАРИТНО – МАССОВЫМИ ПАРАМЕТРАМИ МАШИНЫ**

Технический уровень машины определяется на основе ее параметров (тягово-скоростные свойства, маневренность и подвижность, устойчивость и др.), которые напрямую зависят от габаритно - массовых характеристик и общей компоновки машины.

Разработка конструкции любой КГМ, МТА базируется на соблюдении устойчивых соотношений между основными параметрами и характеристиками машины.

Главными габаритно-массовыми параметрами машин, определяющими их место в типизированном ряду соответствующей техники и влияющими на другие технические параметры, являются масса машины, мощность двигателя, база и колея, между которыми есть устойчивая детерминированная связь [44, 104, 209, 221, 233, 255, 266].

Для ответа на вопрос: «Сохраняется ли данная связь на машинах с ПРЗ?» был проведен сравнительный анализ БРА. Сравним бульдозер ДЗ-171.1КЗ (имеет практически максимально возможную массу ПРЗ на выбранном базовом шасси) и другие БРА с ПРЗ на базе тракторов Т-170М1.01 и Т10 с машинами – аналогами того же тягового класса, но без защиты (табл. 4.2) [73, 231, 241, 254, 255, 256, 266, 267].

Таблица 4.2

Исходные данные и параметры ряда тракторов и агрегатов на их базе

Фирма, агрегат	Мощность дизеля эксплуатац., $N_e$ , л.с.	Конструкц. масса агрегата, $G_{BA}$ , кг	База, L, мм	Колея, B, мм	Ширина гусеницы, b, мм	Удельное давление на грунт, $q$ , МПа	$\frac{N_e}{G_{BA}}$ , л.с./Т	$\frac{L}{B}$	$\frac{B}{G_{BA}}$ , м/Т
ООО "ЧТЗ-Уралтрак" (Россия) Б170М1.01ЕР <sup>*1</sup> Б10М.6000ЕР <sup>*1</sup> ДЗ171.1КЗ <sup>*2</sup> ДЗ10М.6000.13 <sup>*2,3</sup>	170	19215	2517	1880	500	0,06 ... 0,11 (в зависимости от оборудования)	8,95	1,34	0,10
	190	20623	2880	1880	500		9,2	1,53	0,09
	170	22480	2517	1880	500		7,6	1,34	0,08
	190	23040	2880	1880	500		8,3	1,53	0,08
	Комацу (Япония) D65E-12 <sup>*1</sup> D85A-21 <sup>*1</sup>	180	21060	2675	1880		510	8,6	1,42
225		25740	2840	2000	560		8,7	1,42	0,08
Катерпиллар (США) D6R <sup>*1</sup> D7R <sup>*1</sup>	165	19780	2610	1880	560		8,3	1,39	0,10
	230	27450	2878	1981	560		8,4	1,45	0,07

<sup>\*1</sup> Трактор в стандартной комплектации, ROPS-FOPS, полусферический отвал, трехстоечный рыхлитель.

<sup>\*2</sup> Бульдозерный агрегат с прямым отвалом.

**1. Энергонасыщенность**  $N_e / M_m$  – отношение эксплуатационной мощности двигателя к массе машины. У бульдозера ДЗ-171.1КЗ этот параметр составляет 7,6 л.с/т. (мощность двигателя 170 л.с.).

Базовым трактором для бульдозера ДЗ10М.6000.1КЗ является трактор Т10, на который сейчас ставится двигатель ЯМЗ-236 мощностью 190 л.с. При этом энергонасыщенность БРА соответственно составит 8,5 л.с./т., что вполне соответствует уровню современных аналогов. Следовательно, для бульдозеров с ПРЗ оператора значительное увеличение массы базового трактора часто требует адекватного увеличения мощности двигателя.

**2. Тяговое усилие.** Тяга КГМ в основном определяется мощностью двигателя и конструкционной массой машины [44, 242]. При достаточной энергонасыщенности, увеличение массы агрегата приводит к увеличению сцепного веса, что при выборе соответствующих передаточных чисел трансмиссии увеличит тягу и производительность. У бульдозера ДЗ-132-1КЗ установка ПРЗ увеличила массу БА на 6000 кг, что при соответствующих изменениях позволит поднять его тяговое усилие.

**3. Отношение базы к колее**  $L / B$  характеризует маневренность и поворотливость машины. Необходимое условие по поворотливости [196] гусеничных машин  $L / B < 2$  выполняется для всех рассматриваемых машин (табл. 4.2). У бульдозеров ДЗ-171.1КЗ и ДЗ10М.6000.1КЗ это отношение практически соответствует представленным аналогам и подтверждает их высокую маневренность.

**4. Скорость движения** бульдозера ДЗ-171.1КЗ на рабочих режимах снижена по сравнению с базовым трактором и составляет 2,7 ...3,5 км/ч. Эти скорости в рабочем режиме характерны для всех бульдозеров аналогов с полужесткой подвеской.

**5. Среднее удельное давление**  $q$  с бульдозеров ДЗ-171.1КЗ и ДЗ10М.6000.1КЗ составляет порядка 0,09 МПа, что входит в общий диапазон 0,06...0,11 МПа.

Однако, учитывая смещение центра давления машины (из-за установки ПРЗ), средний показатель давления не отражает всей картины взаимодействия в контакте. Для снижения давления на грунт рекомендуется использование болотоходной модификации базового трактора [71, 241]. Она имеет шести или семикатковую тележку и широкие гусеницы (690мм или 900мм). Для установки широких гусениц используется более широкая колея (от 2080мм до 2280мм). Повышенная грузоподъемность болотоходного шасси позволяет устанавливать более тяжелую кабину с увеличенным уровнем ПРЗ.

Таким образом, анализ показал, что *отношения между основными техническими параметрами и габаритно-массовыми параметрами машины, МТА при наличии ПРЗ сохраняются и могут быть применены на начальной стадии проектирования.*

#### **4.3. ВЛИЯНИЕ УСТАНОВКИ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РАБОТЫ МАШИНЫ.**

Разработка конструкции любой КГМ базируется на соблюдении устойчивых соотношений между основными параметрами и характеристиками машины.

Определение массы ПРМ, исходя из грузоподъемности и назначения (применения) шасси трактора и грузового автомобиля, подробно показано в разделе 3.1.

Рассмотрим влияние установки ПРЗ (массы и положения на шасси) на изменение производительности и тяговых параметров машин на примере различных КГМ.

Установка ПРЗ на КГМ, как правило, приводит к нежелательному смещению ЦМ и ЦД машины от ее геометрического центра, при этом ухудшается взаимодействие движителя с грунтом (снижаются сцепные качества, тяговый КПД, растет сопротивление движению).

### 4.3.1. Сопротивление движению и буксование

Рассмотрим влияние положения установки ПРЗ на изменение тяговых свойств машины.

Смещение положения кабины при установке ПРЗ приводит к постоянному, как правило, нежелательному смещению центра давлений относительно геометрического центра контакта, что непременно должно отражаться на: коэффициенте сопротивления движению  $f$  и коэффициенте буксования  $\delta$ .

#### Коэффициент сопротивления движению $f$ .

При отсутствии или малом ( $x \leq \pm 0,1L$ ) смещении  $x$  центра масс сопротивление передвижению растет линейно – пропорционально увеличению веса машины:

$$\Delta R_f = f(G_m - G_w) = fG_{ПРЗ}, \quad (4.1)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления самопередвижению,  $G_w, G_m$  – вес базовой машины и машины с ПРЗ,  $G_{ПРЗ}$  – вес защиты.

При значительном смещении центра масс сопротивление движению начинает увеличиваться в параболической зависимости [44].

**Коэффициент буксования  $\delta$**  представляет большой интерес, так как непосредственно влияет на производительность выполняемых работ. Кривая буксования является функцией удельного тягового усилия  $\Phi_k$  в контакте и имеет вид [44]:

$$\delta = 1 - \left( 1 - \frac{\Phi_k}{\Phi_{k \max}} \right)^\beta, \quad (4.2)$$

где  $\Phi_k, \Phi_{k \max}$  – текущее и максимальное значение удельного тягового усилия,  $\beta$  – показатель степени.



Однако, смещение центра масс, меняя эпюру давлений движителя на грунт, влияет на удельное тяговое усилие и вносит существенные коррективы в формулу (4.2):

$$\delta = 1 - \left( 1 - \frac{\varphi_k}{\varphi_{k \max} - \Delta\varphi_k} \right)^\beta, \quad (4.3)$$

где  $\Delta\varphi_k$  – падение удельного тягового усилия за счет смещения ЦМ.

При отсутствии смещения центра масс  $\Delta\varphi_k = 0$ . При этом удельное тяговое усилие машины с ПРЗ будет меньше чем у базовой машины на величину прироста сопротивления передвижению

$$\frac{\varphi_k}{\varphi_w} = f \frac{G_{ПРЗ}}{G_w}. \quad (4.4)$$

При увеличении массы на 25% и  $f = 0,08$  (для гусеничного трактора) снижение удельного тягового усилия составляет 0,02 относительно базовой (без ПРЗ) машины, что приводит к падению производительности на 1%.

При наличии смещения центра масс удельные тяговые усилия машины  $\varphi_k$  с ПРЗ определяются:

$$\varphi_k = \frac{\varphi_w}{\left( 1 + \frac{G_{ПРЗ}}{G_w} \right)}, \quad (4.5)$$

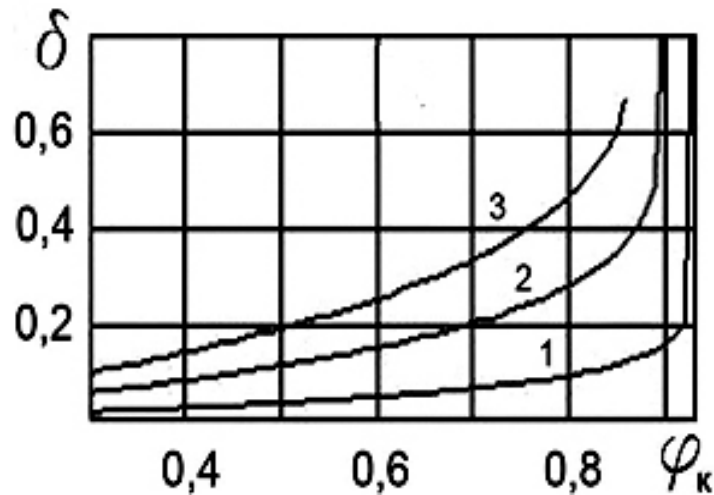
где  $\varphi_w$  – удельные тяговые усилия базовой машины.

На основе формул (4.3) и (4.5) были проведены дополнительные исследования и получена зависимость показателя степени  $\beta$  (и соответственно буксования  $\delta$ ) в аналитической зависимости от величины смещения центра масс  $X$  (рекомендованный у Ю.В. Гинзбурга и др.  $\beta = 0,05$  [44]).

В результате для гусеничных машин:

- при  $x = 0,1$  м,  $\beta = 0,05$  и  $\Delta\varphi_k = 0,07$ ,
- при  $x = 0,2$  м,  $\beta = 0,15$  и  $\Delta\varphi_k = 0,1$ ,
- при  $x = 0,35$  м,  $\beta = 0,25$  и  $\Delta\varphi_k = 0,13$ .

На рис. 4.4 показаны графики буксования  $\delta$  при смещении (в том числе значительном) центра масс гусеничной машины.



**Рис. 4.4.** Зависимость буксования  $\delta$  от удельного тягового усилия  $\varphi_k$  при смещении центра давлений гусеничной машины от геометрического центра контакта на:  
1 – 0,1 м, 2 – 0,2 м и 3 – 0,35 м

Для колесных машин показатель степени  $\beta$  сам зависит от удельного тягового усилия [44]:

$$\beta = \xi \left( 1 + \frac{\varphi_k}{\varphi_{k \max}} \right). \quad (4.6)$$

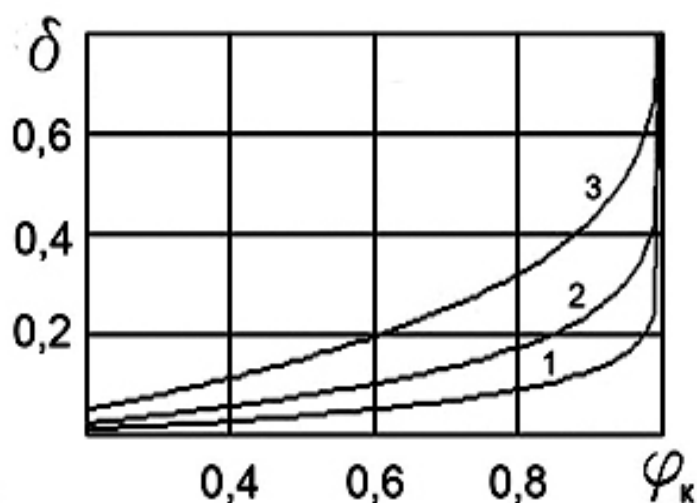
При этом формула (4.2) примет вид (при наличии смещения ЦМ из-за установки ПРЗ соответственно изменится и формула 4.3):

$$\delta = 1 - \left( 1 - \frac{\varphi_k}{\varphi_{k \max}} \right)^{\xi \left( 1 + \frac{\varphi_k}{\varphi_{k \max}} \right)} \quad (4.7)$$

При оценке влияния смещения  $x$  центра масс был уточнен коэффициент  $\xi$  (рекомендованный у Ю.В. Гинзбурга и др.  $\xi = 0,1$  [44]), в зависимости от смещения центра масс колесной машины, входящий в формулы (4.6, 4.7):

- при  $x = 0,1$  м,  $\xi = 0,05$ ,
- при  $x = 0,2$  м,  $\xi = 0,1$ ,
- при  $x = 0,35$  м,  $\xi = 0,15$ .

Графики буксования  $\delta$  при смещении (в том числе значительном) центра масс колесной машины показаны на рис. 4.5.



*Рис. 4.5. Зависимость буксования  $\delta$  от удельного тягового усилия  $\varphi_k$  при смещении центра масс колесной машины на:  
1 – 0,1 м, 2 – 0,2 м и 3 – 0,35 м*

### 4.3.2. Тяговый КПД и оптимальные тяговые усилия

Потенциальная тяговая характеристика представляет совокупность кривых тяговых мощностей в функции тягового усилия. Она позволяет определить потенциальные возможности машины, заложенные при ее проектировании.

Огибающая тяговых мощностей в удельных единицах представляет собой тяговый КПД  $\eta$ , который вводится как отношение тяговой

мощности  $N_{кр}$  к мощности моторно – трансмиссионной установки (двигателя)  $N_m$  [196]:

$$\eta = \frac{N_{кр}}{N_m}. \quad (4.8)$$

Тяговый КПД представляет собой выпуклую функцию от удельного тягового усилия с явно выраженным локальным максимумом внутри промежутка  $0 \leq \varphi \leq \varphi_{max}$ . Удельное тяговое усилие  $\varphi$ , при котором тяговый КПД достигает своего максимального значения  $\eta_{max}$ , называется оптимальным  $\varphi_{k max}$  тяговым усилием [196].

Оптимальные удельные тяговые усилия агрегата обеспечивают максимальную производительность БА и БРА [196].

Для работ на грунтах различной плотности оптимальные тяговые усилия имеют следующие значения [134, 196].

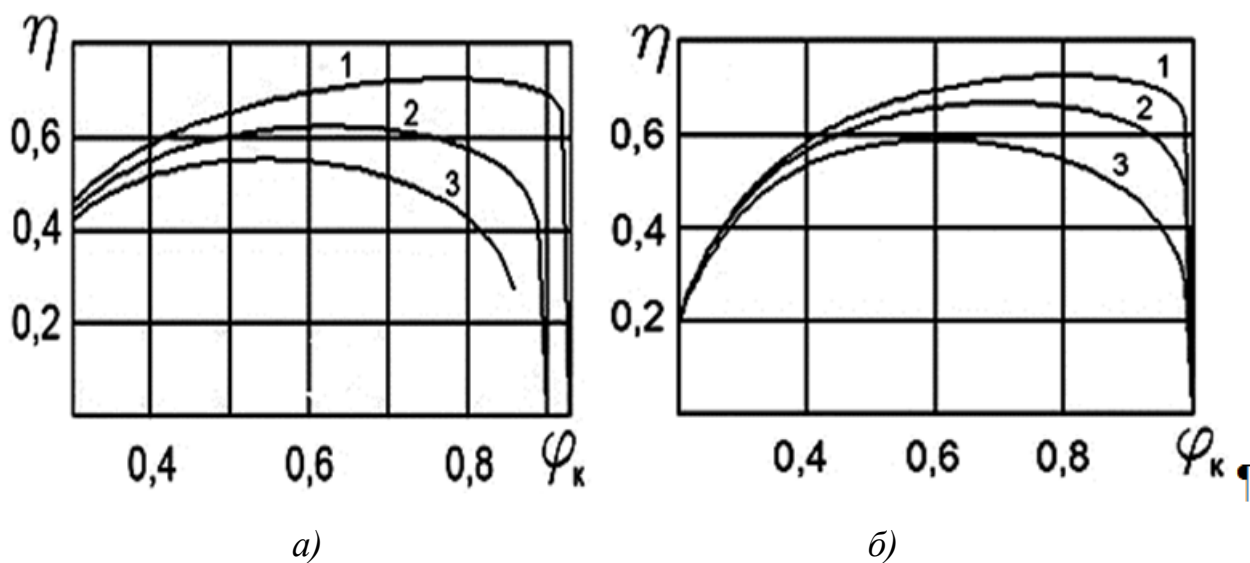
– для бульдозеров на базовом тракторе Т10 с механической трансмиссией при работе на грунтах 2 и 3 категории –  $\varphi_{k max} = 0,7$ , при работе на грунтах 1 категории –  $\varphi_{k max} = 0,64$ ,

– для бульдозеров на базовом тракторе Т10 с гидромеханической трансмиссией при работе на грунтах 2 и 3 категории –  $\varphi_{k max} = 0,48...0,81$ , при работе на грунтах 1 категории –  $\varphi_{k max} = 0,39...0,66$ ,

– для бульдозеров на базовом тракторе ДЭТ–250М2 с электромеханической трансмиссией при работе на одной передаче –  $\varphi_{k max} = 0,4...0,81$ , при работе на грунтах 1 категории –  $\varphi_{k max} = 0,64$ .

Следует также отметить, что экстремум производительности и расхода топлива у бульдозерных агрегатов на  $1 \text{ м}^3$  разработанного грунта достигается при одних и тех же тяговых усилиях. То есть, оптимизируя параметры БА и БРА по производительности, мы одновременно оптимизируем их и по расходу топлива [196].

Установка ПРЗ (сопровождаяемая смещением центра масс) приводит к смещению зависимости  $\eta(\varphi)$  (рис. 4.6).



**Рис. 4.6.** Зависимость тягового КПД гусеничной (а) и колесной (б) машины с ПРЗ при смещении центра масс: на 0,1 м (1), 0,2 м (2) и 0,35 м (3)

На рисунке 4.6 видно существенное снижение тягового КПД при увеличении смещения центра масс. Поскольку тяговый КПД является функцией тяги и скорости с единственным локальным максимумом внутри промежутка  $0 \leq V \leq V_{max}$ , то одним из способов его поднятия является изменение передаточного числа трансмиссии.

Изменения оптимального передаточного числа трансмиссии БА с ПРЗ по сравнению с базовой машиной должны соответствовать оптимальному тяговому КПД  $\varphi_{КОПТ}$ .

Поднять удельное тяговое усилие машины с ПРЗ с целью получения рациональных передаточных чисел трансмиссии (обеспечивающим оптимальный тяговый КПД) можно изменив передаточное число трансмиссии пропорционально изменению веса машины

$$i_{opt} = i_w (1 + G_{ПРЗ} / G_w), \quad (4.9)$$

где  $i_w$  – передаточное число базового шасси;

$i_{opt}$  – оптимальное передаточное число машины с ПРЗ, соответствующее оптимальному удельному тяговому усилию.

Примеры выбора оптимальных передаточных чисел трансмиссии конкретных КГМ (с учетом формул 4.3...4.7, 4.9) приведены в разделе 6.2.

Для дальнейшего повышения производительности машин при установке ПРЗ необходим соответствующий подбор рабочего оборудования (раздел 4.4).

#### **4.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МАССЫ МАШИНЫ С УЧЕТОМ ЗАЩИТЫ**

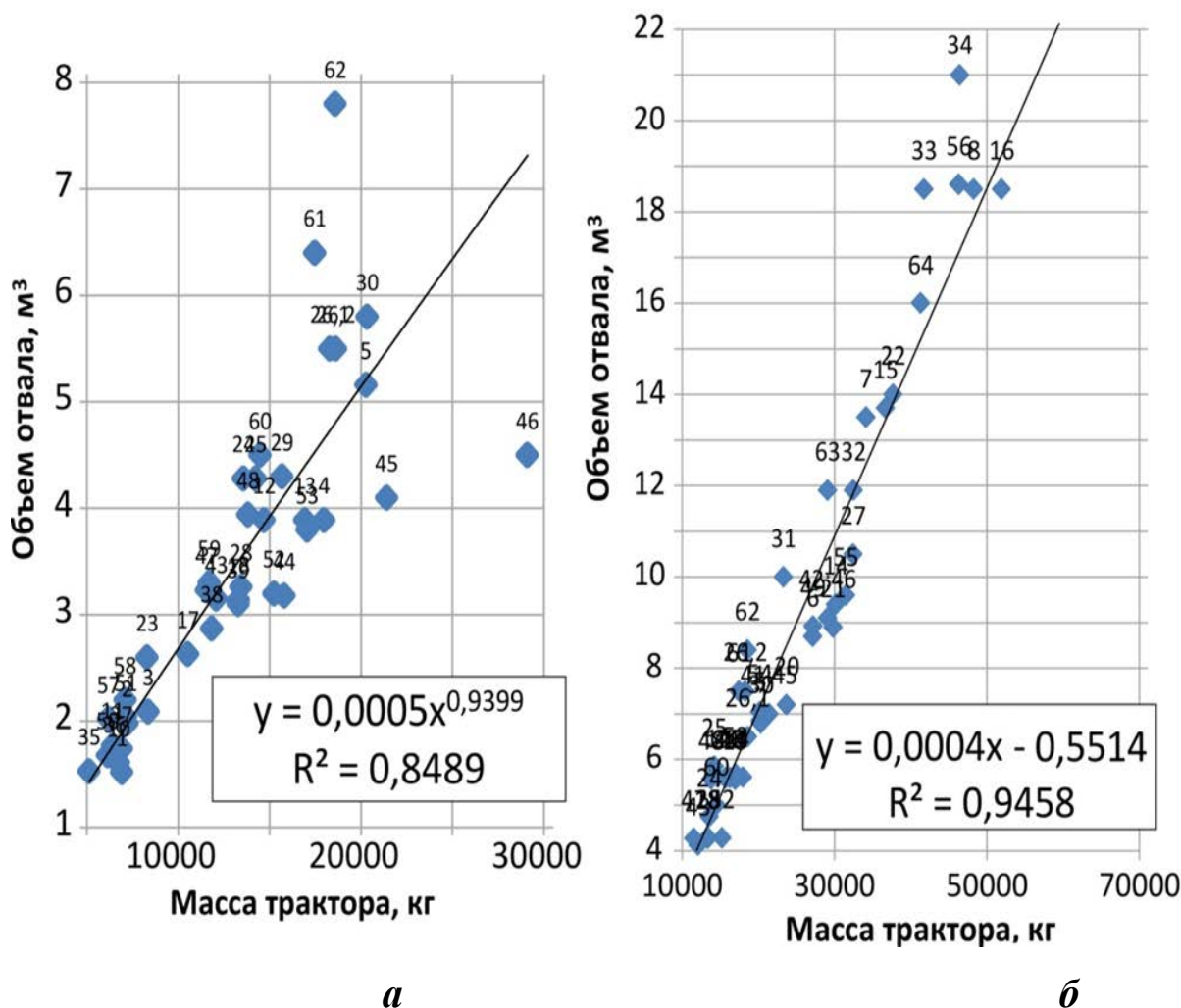
Даже при условии оптимизации работы машины с ПРЗ по тяговым усилиям (передачам) для достижения максимальной производительности агрегата при наличии рабочего оборудования требуется соответствующее изменение этого оборудования, как правило, увеличение его параметров и характеристик пропорциональное увеличению массы машины (массы ПРЗ). Очевидно, что увеличение массы машины за счет установки защиты, желательно (по возможности) реализовать в установке более тяжелого и производительного рабочего оборудования.

Рассмотрим влияние установки ПРЗ на параметры рабочего оборудования на примере БА. Формулы расчета современных бульдозерных отвалов в зависимости от конструктивной массы трактора (в том числе за счет установки ПРЗ), полученные автором, приведены в литературе [97, 98, 102]:

##### **1. Объем отвала**

Зависимость объема отвалов (прямых и полусферических) от массы трактора (в том числе, увеличенной за счет установки ПРЗ) приведена на рис. 4.7. Формулы расчета объема конкретного отвала и коэффициент корреляции Пирсона ( $R^2$ ) для каждого типа отвала прописаны на графиках.

Из рис. 4.7 видно, что объем прямого и полусферического отвала имеет практически линейную зависимость от массы трактора.



**Рис. 4.7.** Расчетно – экспериментальная зависимость объема отвала от изменения конструкционной массы гусеничного промышленного трактора (в том числе при установке ПРЗ) [97, 98, 102]:

*а – прямой отвал, б – полусферический отвал*

На графике (рис. 4.7а) имеются некоторые «точки выброса» с большим расхождением практических значений от аппроксимирующей кривой, которые связаны:

- для точек 44, 45, 46 (бульдозеры фирмы «New Holland») с приведением данных для прямого поворотного отвала, который (по сравнению с обычным прямым), как правило, имеет большую ширину при меньшем объеме;

- для точек 61, 62, 63 (бульдозеры фирмы «Shantui») с отвалом для использования на более легких (чем у других производителей) грунтах, при этом отвал имеет больший объем.

Без учета таких отвалов (точки 44, 45, 46, 61, 62, 63) график теоретической зависимости объема прямого отвала от конструкционной массы трактора на рис. 4.7а незначительно изменится, а расчетная формула объема прямого отвала примет вид  $y = 0,0004x^{0,9471}$ , при этом коэффициент корреляции Пирсона будет равен 0,9169.

В дальнейшем, для экономии места, рассмотрим влияние увеличения массы базового трактора только на параметры полусферического отвала. Подробнее таблицы параметров, эти зависимости и выводы по ним для разных типов отвалов приведены в литературе [97, 98, 102].

## 2. Масса отвала.

Очевидно, что с ростом конструктивной массы трактора растет и масса устанавливаемого на него отвала. Этот параметр находится в прямопропорциональной зависимости от массы базы (рис. 4.8а).

## 3. Ширина и высота отвала

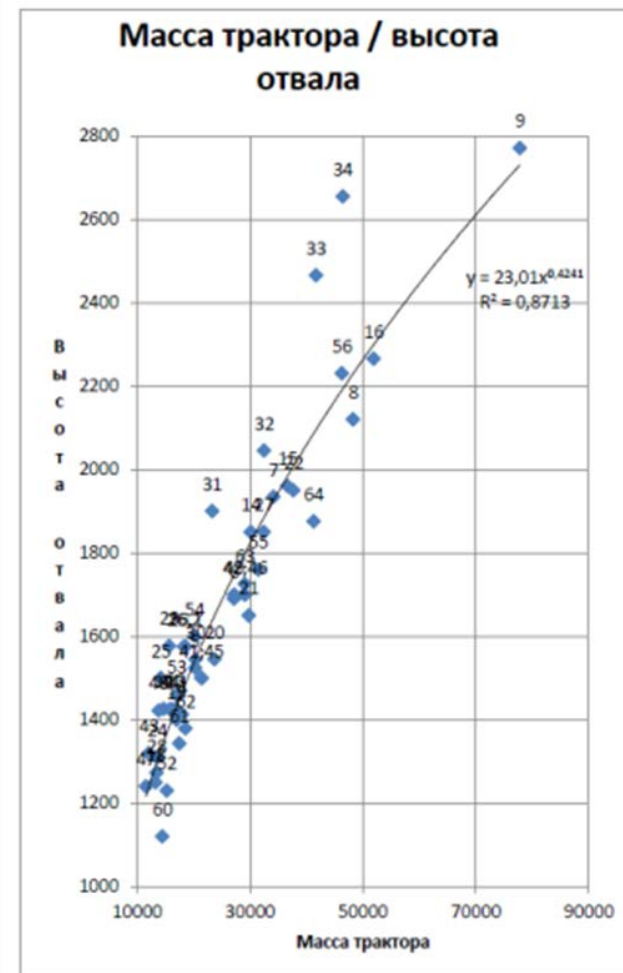
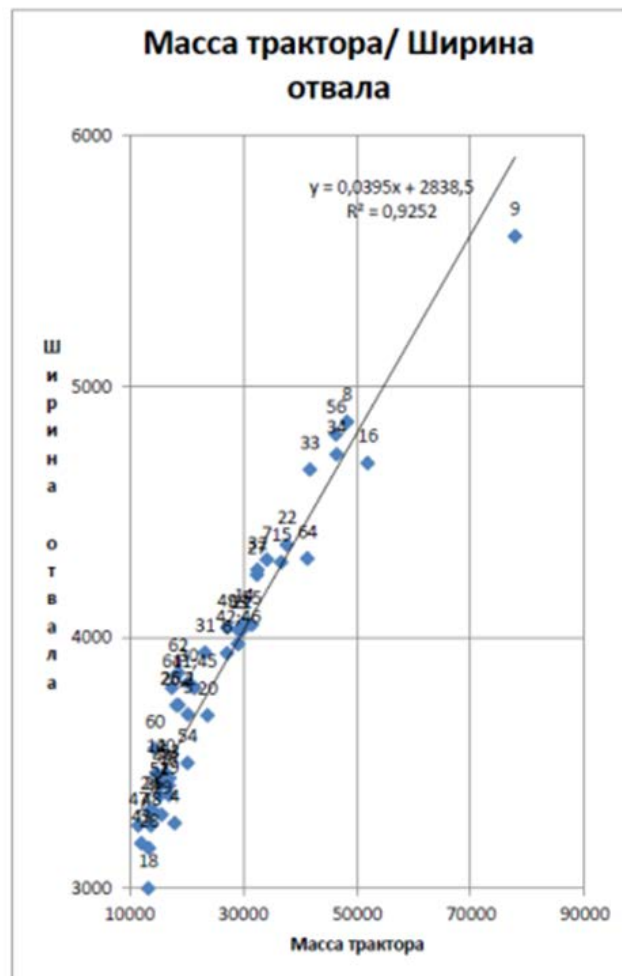
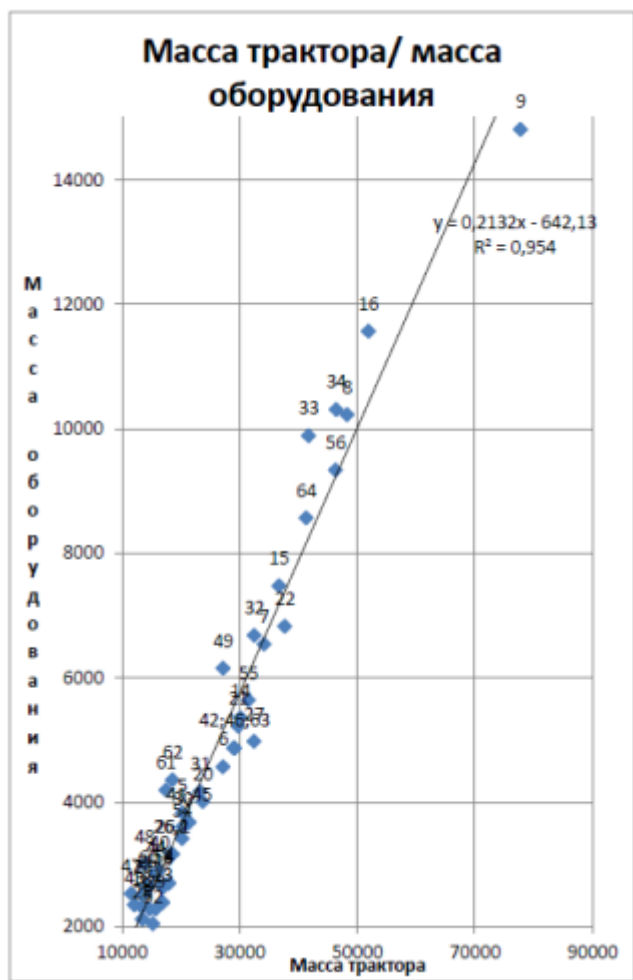
Ширина полусферических отвалов находится в прямопропорциональной зависимости от конструкционной массы трактора (рис. 4.8б).

Характер зависимости высоты полусферического отвала от конструкционной массы трактора выражается степенной функцией, при этом относительный рост высоты отвала уменьшается с повышением массы трактора (рис. 4.8в).

Тракторные агрегаты с ростом массы трактора обычно планируют использовать на более тяжелых (плотных) грунтах, при этом увеличение высоты отвала, по сравнению с шириной, меньше влияет на объем набираемого грунта.

В свою очередь для работы на легких грунтах увеличение объема призмы волочения часто достигается за счет повышения объема отвала путем увеличения его высоты (отвал для работы на легких грунтах, установка специальных козырьков, добавляющих высоту отвала, и т.д.).



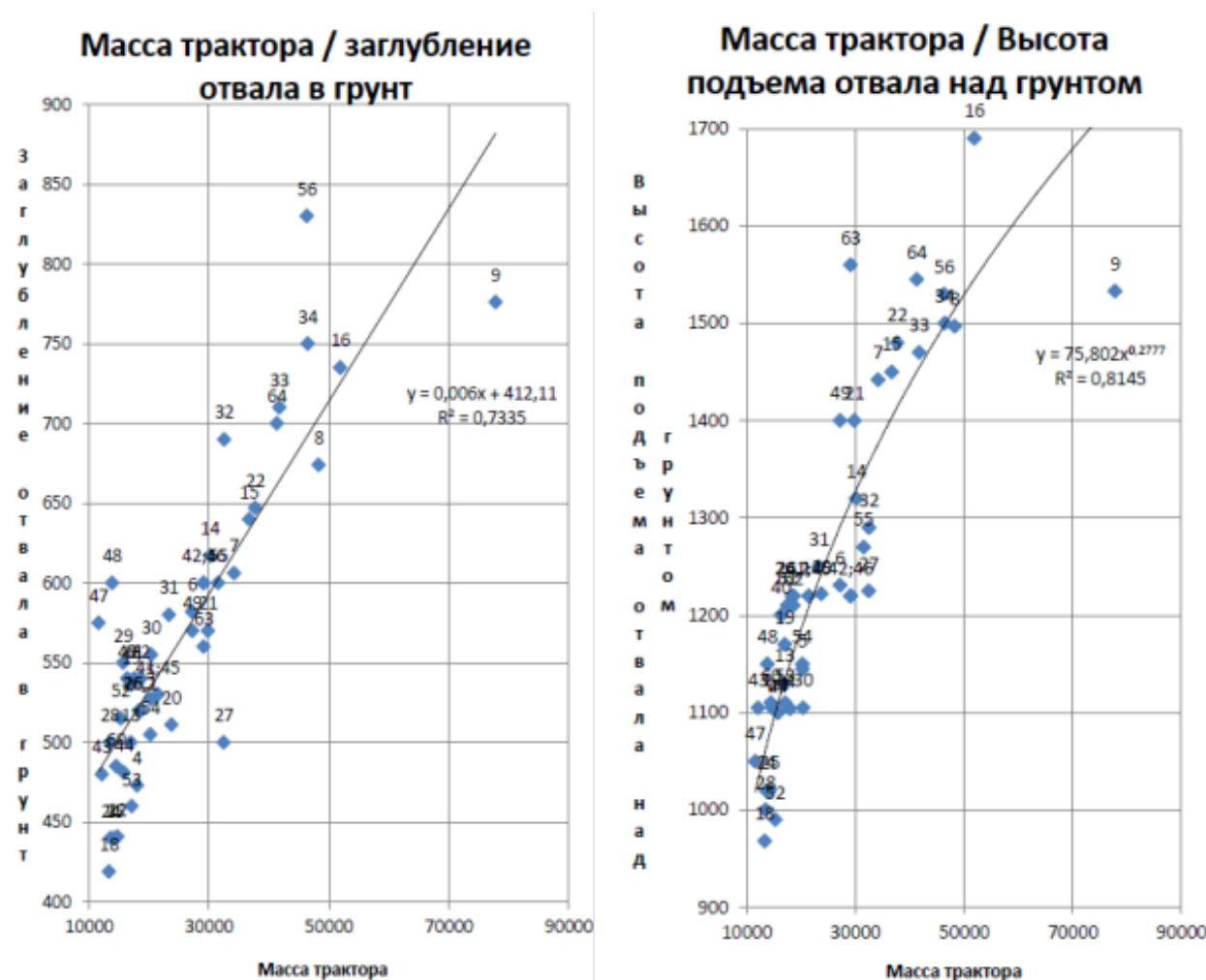


*Рис.4.8. Зависимость массы (а), ширины (б) и высоты (в) полусферического отвала от конструкционной массы трактора [97, 98]*

Очевидно с возможностью более производительной работы на более легких грунтах, по сравнению с большинством БА соответствующих по классу (по массе), связана увеличенная высота ряда отвалов (полусферические отвалы, характеризующие точки 33 и 34 на рис. 4.8б).

#### 4. Заглубление и высота подъема (рис. 4.9).

С ростом массы бульдозера возрастают удельные давления на кромку отвала, тем самым позволяя БА срезать более толстую стружку (слой грунта) при работе всей плоскостью кромки отвала, или развивать еще большее давление при его перекосе. Следовательно, для реализации этой возможности более тяжелые агрегаты должны иметь большие значения заглубления отвала в грунт.



*Рис.4.9. Зависимость заглубления и высоты подъема полусферического отвала от конструкционной массы трактора [98]*

Высота подъема отвала над грунтом, в том числе определяется и видимостью передней зоны обзора с места оператора (отвал не должен перекрывать эту зону сверх допустимых норм, в РФ обзорность из БА оговаривается ГОСТ 12.2.121-88 разд. 2, прилож. 4). Степенная зависимость высоты подъема отвала от конструкционной массы трактора определяется нелинейным ростом места положения оператора (и соответственно его глаз) и кромки капота (ограничивающей обзорность вперед) при росте массы (и соответственно высоты) трактора. Из-за того, что высота расположения оператора и кромки капота растет медленнее, чем масса трактора (МТА) относительное увеличение высоты подъема отвала над грунтом уменьшается с повышением массы трактора (рис. 4.9б).

Полученные новые математико-статистические зависимости (в виде формул и графиков) основных габаритно-массовых параметров отвалов от конструкционной массы гусеничного промышленного трактора с учетом последних образцов серийных бульдозеров на базе таких тракторов [97]. По этим зависимостям можно оценивать технический уровень конкретных серийных БА, а также выбирать параметры БО при проектировании новых и модернизации существующих бульдозеров.

Использование этих зависимостей (с учетом установки ПРЗ) и оценка их вклада в производительность для конкретной техники приведены в разделе 6.4.

Зависимости массы БО, объема его отвала и ширины от конструкционной массы трактора имеют небольшие: среднеквадратичные отклонения, границы рассеивания параметров и доверительный интервал. Это указывает, что на практике используется достаточно узкий диапазон рациональных значений этих параметров.

Более широкие границы рассеивания по другим параметрам отвала указывают на то, что на практике еще не сложился четкий подход к выбору

оптимальных значений этих параметров, а сам конкретный параметр меньше влияет на эффективность БА, по сравнению с массой, объемом и шириной полусферического отвала.

Очевидно, что для получения максимальной производительности техники с другим рабочим оборудованием также необходим учет влияния увеличения массы агрегата за счет установки ПРЗ. При этом возможна доработка ряда узлов и агрегатов базовой машины, связанных в первую очередь с передачей мощности на рабочее оборудование (при необходимости по возможности подъем мощности двигателя, узлов привода активных рабочих органов...) и прочностными характеристиками машины и оборудования.

#### **4.5. ВЛИЯНИЕ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШАССИ**

Установка ПРЗ приводит к дополнительной нагрузке на шасси КГМ, при этом очевидна необходимость проверки его прочностных характеристик, в первую очередь несущей и ходовой систем. Рассмотрим эту проверку на примере установки защиты на бульдозер (на базе промышленного трактора), как одного из наиболее нагруженных и наиболее часто используемых на РЗМ типа машин.

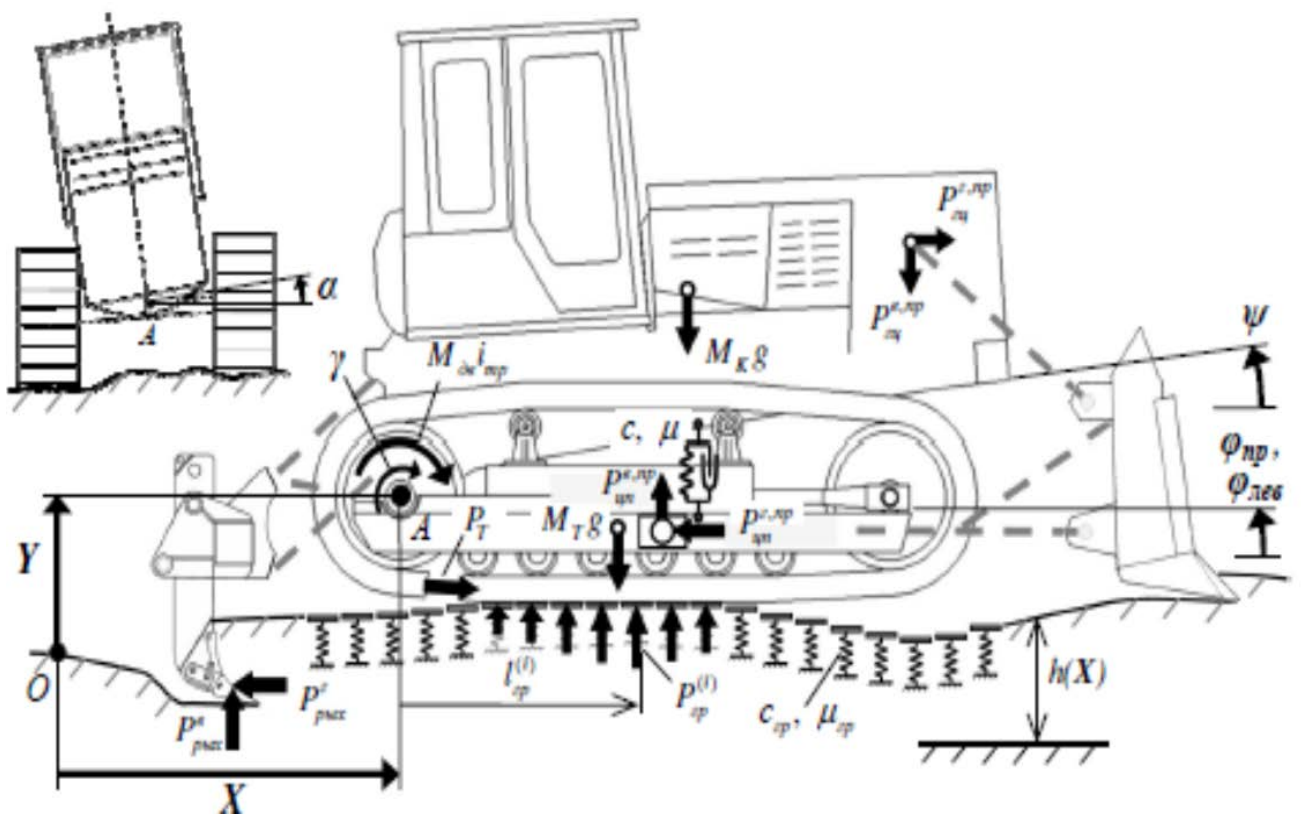
Для усиления любой конструкции вначале необходимо выявить ее слабые места. При проведении расчетов на прочность, важную роль играют правильно заданные нагрузки.

Нагружение рамы определялось из условий эксплуатации машины. Для бульдозерного агрегата, рассматривались два основных режима движения:

- бульдозирование грунта (внешние нагрузки на раму приходят от рабочего органа – отвала);
- транспортный режим (внешние нагрузки на раму приходят от ходовой системы, взаимодействующей с грунтом).

Таким образом, были сформулированы требования к математической модели. Она должна отражать силовое нагружение со стороны отвала и кинематическое возбуждение (колебания) со стороны случайного профиля дороги. Математическая модель, наряду с обычно задаваемыми весовыми и геометрическими параметрами объекта, должна включать характеристики ПРЗ, двигателя, трансмиссии, полужесткой подвески и гусеничного движителя.

Математическая модель (рис. 4.10, система 4.10), отвечающая всем основным требованиям эксплуатации, была разработана совместно с Березиным И.Я. и Халтуриным В.К. [27]. Она описывает бульдозер как объект моделирования динамических процессов и представляет собой связную нелинейную систему, испытывающую многопараметрическое случайное воздействие внешней среды, при выполнении основных работ, в том числе на РЗМ (с учетом установки ПРЗ).



**Рис. 4.10.** Схема нагружения БРА на базе гусеничного промышленного трактора в процессе эксплуатации.

$$M_T \left[ 2\ddot{Y} + \frac{1}{2} L_T (\ddot{\varphi}_{np} + \ddot{\varphi}_{лев}) \right] + M_K \left[ \ddot{Y} + \frac{1}{2} L_K \ddot{\psi} \right] + (2M_T + M_K) g = F; \quad (4.10.1)$$

$$\frac{M_T b}{4} \left[ L_T (\ddot{\varphi}_{np} - \ddot{\varphi}_{лев}) + 2b^2 \ddot{\alpha} \right] + (J_K^x + 2J_T^x) \ddot{\alpha} = F^{<1>;} \quad (4.10.2)$$

$$\frac{M_T L_T}{4} (2\ddot{Y} + 2g + b\ddot{\alpha} + L_T \ddot{\varphi}_{np}) + J_T^z \ddot{\varphi}_{np} + \frac{C_P L_P^2}{4} \left( \varphi_{np} + \varphi_{лев} - 2\psi + \frac{2a}{L_P} \right) + \frac{\mu_P L_P^2}{4} (\dot{\varphi}_{np} + \dot{\varphi}_{лев} - 2\dot{\psi}) = F^{<2>;} \quad (4.10.3)$$

$$\frac{M_T L_T}{4} (2\ddot{Y} + 2g - b\ddot{\alpha} + L_T \ddot{\varphi}_{лев}) + J_T^z \ddot{\varphi}_{лев} + \frac{C_P L_P^2}{4} \left( \varphi_{np} + \varphi_{лев} - 2\psi + \frac{2a}{L_P} \right) + \frac{\mu_P L_P^2}{4} (\dot{\varphi}_{np} + \dot{\varphi}_{лев} - 2\dot{\psi}) = F^{<3>;} \quad (4.10.4)$$

$$\frac{M_K L_K}{2} \left( \ddot{Y} + g + \frac{L_K \ddot{\psi}}{2} \right) + J_K^z \ddot{\psi} - C_P L_P^2 \left( \varphi_{np} + \varphi_{лев} - \frac{\psi}{2} + \frac{a}{L_P} \right) - \frac{\mu_P L_P^2}{2} (\dot{\varphi}_{np} + \dot{\varphi}_{лев} - 2\dot{\psi}) = F^{<4>;} \quad (4.10.5)$$

$$J_{np} \dot{\gamma} = M_{\delta\delta} i_{np} - P_T r_{вк}; \quad (4.10.6)$$

$$\frac{\dot{\gamma} r_{вк} - \dot{X}}{\dot{\gamma} r_{вк}} = 1 - \left( 1 - \frac{\varphi_{кр}}{\varphi_{кр \max}} \right)^\beta; \quad (4.10.7)$$

$$C = \begin{cases} C_1, & \text{если } \varphi_{np} - \psi > \vartheta_0 \text{ или } \varphi_{лев} - \psi > \vartheta_0 \\ C_2, & \text{если } \varphi_{np} - \psi < \vartheta_0 \text{ и } \varphi_{лев} - \psi < \vartheta_0 \end{cases}, \quad (4.10.8)$$

где

$$F = P_{ун}^{\delta,np} + P_{ун}^{\delta,лев} - P_{зч}^{\delta,np} - P_{зч}^{\delta,лев} + \sum_i P_{зр,np}^{(i)} + \sum_i P_{зр,лев}^{(i)};$$

$$F^{<1>} = \frac{b}{2} \left[ \left( P_{ун}^{\delta,np} - P_{ун}^{\delta,лев} \right) - \left( P_{зч}^{\delta,np} - P_{зч}^{\delta,лев} \right) + \left( \sum_i P_{зр,np}^{(i)} - \sum_i P_{зр,лев}^{(i)} \right) \right];$$

$$F^{<2>} = P_{ун}^{\delta,np} x_T - P_{ун}^{\delta,np} y_T + \sum_i P_{зр,np}^{(i)} l_{зр}^{(i)}; \quad M^{<3>} = P_{ун}^{\delta,лев} x_T - P_{ун}^{\delta,лев} y_T + \sum_i P_{зр,лев}^{(i)} l_{зр}^{(i)};$$

$$F^{<4>} = - \left( P_{зч}^{\delta,np} + P_{зч}^{\delta,лев} \right) x_K - \left( P_{зч}^{\delta,np} + P_{зч}^{\delta,лев} \right) y_K$$

где:  $M_K, M_T$  – масса корпуса трактора, гусеничной тележки,

$J_T, J_K, J_{пр}$  – момент инерции гусеничной тележки, корпуса трактора и приведенный к ведущему колесу момент инерции всех вращающихся масс;

$L_K$  – расстояние от центра масс до оси ведущего колеса,  $r_{вк}$  – радиус ведущей звездочки,  $C$  – жесткость поперечной балки (или рессоры),

$\varphi_{кр}, \varphi_{кр\max}$  – текущее и максимальное удельное крюковое тяговое усилие агрегата,

$R_{гц}^{в,пр}, R_{гц}^{в,лев}, R_{цп}^{в,пр}, R_{цп}^{в,лев}$  – горизонтальные реакции со стороны правого и левого соединительных пальцев гидроцилиндров и сферических цапф,

$x_T, y_T$  – расстояние от ведущего колеса до места крепления цапфы к гусеничной тележке.

Система дифференциальных уравнений (4.10) прямолинейного движения промышленного трактора с полужесткой подвеской составлена с применением процедуры Лагранжа второго рода с дополнительными (избыточными) координатами. В качестве обобщенных координат приняты горизонтальная ( $X$ ) и вертикальная ( $Y$ ) координаты оси ведущего колеса, углы поворота корпуса трактора ( $\psi$ ) и тележек ( $\varphi_{пр}, \varphi_{лев}$ ) в продольной вертикальной плоскости, угол поворота корпуса трактора в поперечной вертикальной плоскости ( $\alpha$ ), угол поворота ведущих колес ( $\gamma$ ). Форма опорной гусеничной поверхности близка к плоскости, прокачка тележек современных гусеничных промышленных тракторов не превышает  $3^\circ$ .

Уравнение (4.10.1) системы (4.10) описывает перемещения трактора в вертикальном направлении  $Y$ , уравнение (4.10.2) отображает угловые колебания корпуса относительно продольной оси  $X$ , а уравнения (4.10.3) – (4.10.5) – колебания гусеничных тележек и корпуса трактора относительно поперечной оси, проходящей через оси ведущих колес. Учет тяговой характеристики двигателя выполнен в дифференциальном уравнении (4.10.6), определяющем движение валов ведущих колес.

Уравнение (4.10.7), описывает процесс экстремального буксования, устанавливает зависимость между теоретической и действительной скоростями движения трактора. В данное уравнение входят дополнительные неголономные связи (по удельной тяге и буксованию), обуславливающие появление избыточных координат.

Помимо дифференциальных уравнений, определяющих движение БРА (4.10.1...4.10.6) и буксование (4.10.7) в системе учтена нелинейность характеристики подрессоривания, возможность замыкания балки подвески на упоры рамы трактора (пробой подвески) – система (4.10.8), где  $\vartheta$  – угол поворота корпуса трактора относительно тележек, при котором происходит это замыкание.

Предлагаемая математическая модель системы, наряду с обычно задаваемыми весовыми и геометрическими параметрами объекта, включает характеристики ПРЗ, двигателя, трансмиссии, полужесткой подвески и гусеничного движителя; модель отображает также наличие явления экстремального буксования и связанность динамических процессов силового нагружения со стороны рабочих органов и кинематического возбуждения со стороны случайного профиля пути. Воздействие внешней среды задается в виде соответствующего выполняемой технологической операции процесса изменения во времени случайного вектора нагрузок со стороны рабочих органов.

Особенности математической модели (4.10) в учете факторов:

- двухстороннего внешнего воздействия (со стороны рабочего органа и ходовой системы);
- особенностей полужесткой подвески (с балансирной балкой) бульдозерного агрегата;
- буксования гусеничного движителя;
- *влияние массы ПРЗ и ее смещения относительно ЦМ базы, учтено в значениях тяговых усилий и нагрузок, а также показателя*

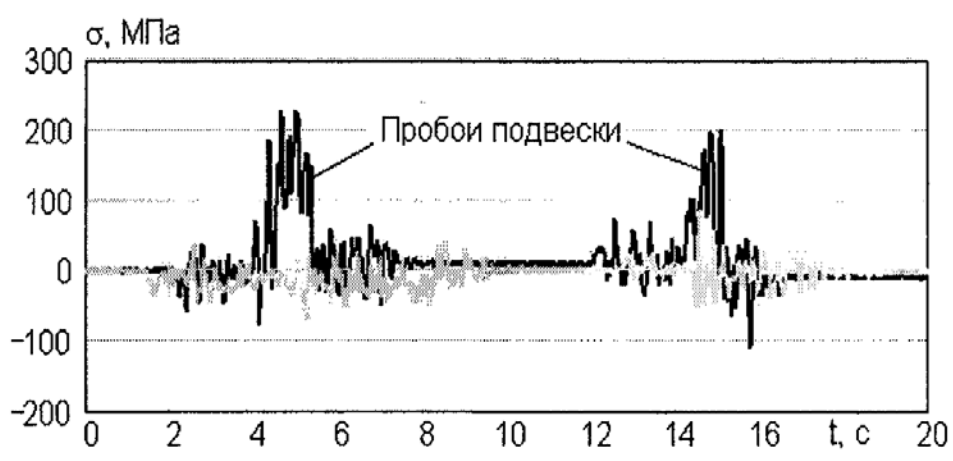
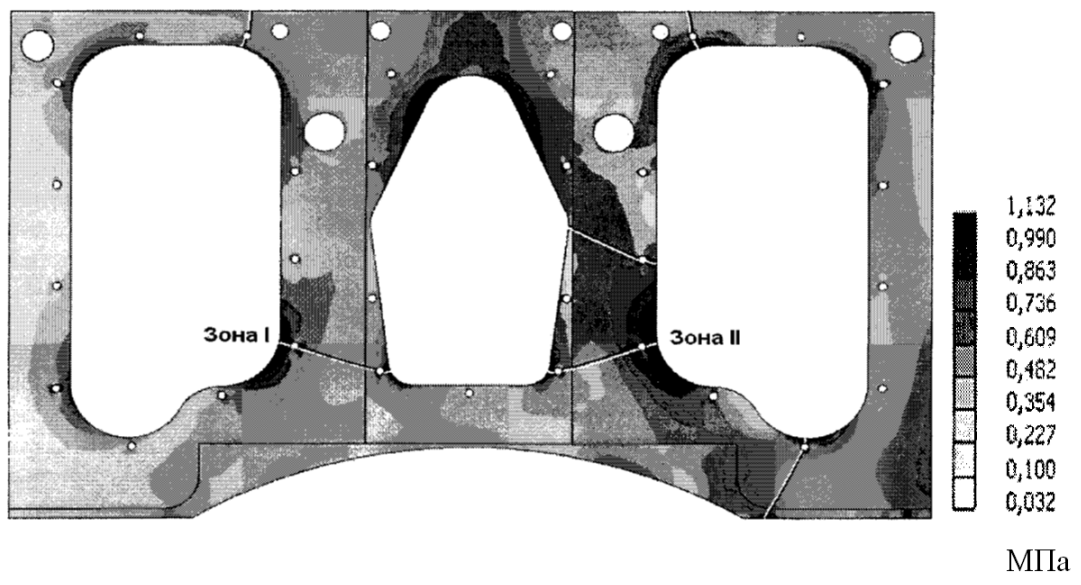
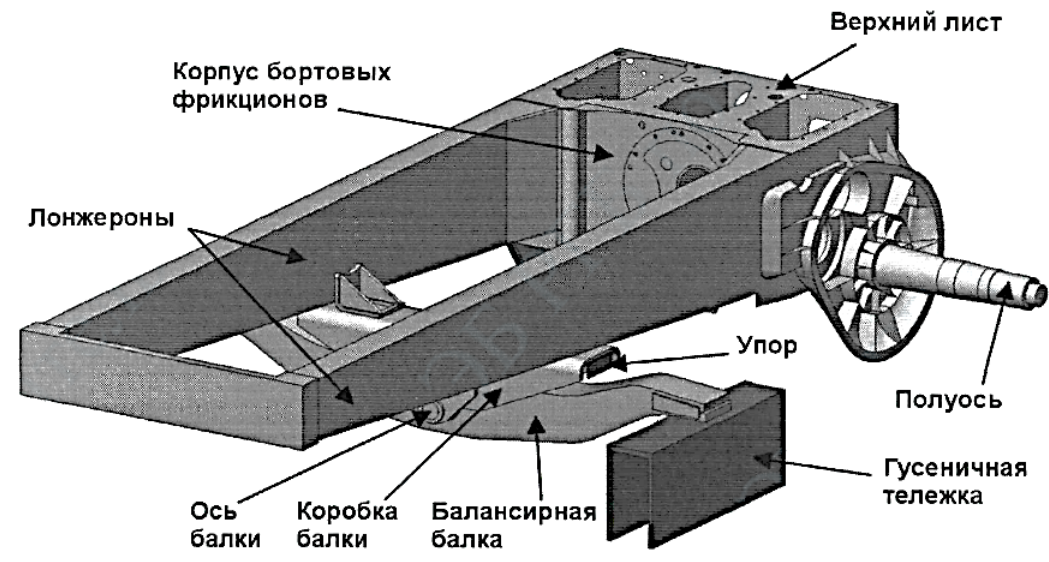


*степени буксования*  $\beta$  в уравнении (4.10.7), определяемом из условий формулы (4.3) и раздела 4.3.1.

Воздействие внешней среды задавалось в виде изменяющегося во времени вектора нагрузок со стороны рабочих органов (отвала и рыхлителя) и ходовой системы (рис. 4.10), что вполне соответствует рассматриваемым технологическим операциям.

Анализ внешних нагрузок, приходящих на раму, показал, что их доля со стороны ходовой системы составляет 40 ... 50% от общего уровня нагрузок. С другой стороны, характер нагружения со стороны ходовой системы во многом определяется типом подвески и особенностями передачи нагрузки. Сейчас широко используется полужесткая подвеска с балансирной балкой (тележки, соединены с рамой трактора через упругие элементы: сзади жестким шарниром на полуосях рамы с возможностью прокачки, спереди закрепленной на продольной оси рамы балансирной балкой). Такая подвеска наиболее полно (при относительной простоте конструкции) обеспечивает сочетание требований по созданию необходимых тягово-цепных параметров с достаточной плавностью хода на различных грунтах со скоростями до 10...12 км/ч, характерными для существующих гусеничных промышленных тракторов. Вариант такой подвески приведен на рис. 4.11).

Особенность работы балансирной балки (рис. 4.11) заключается в том, что когда балка не замкнута на упоры, суммарное усилие со стороны гусеничных тележек равномерно распределяется по двум лонжеронам рамы и корпус фрикционов нагружен симметрично. Однако в случае замыкания балки на одном из упоров симметрия нарушается, что приводит к неблагоприятному нагружению несущей системы трактора, сопровождающемуся повышением уровня напряжений, в 2 ... 3 раза превышающему рабочий (график на рис. 4.11) [238]. Увеличение массы машины (за счет ПРЗ) дополнительно усугубляет ситуацию.



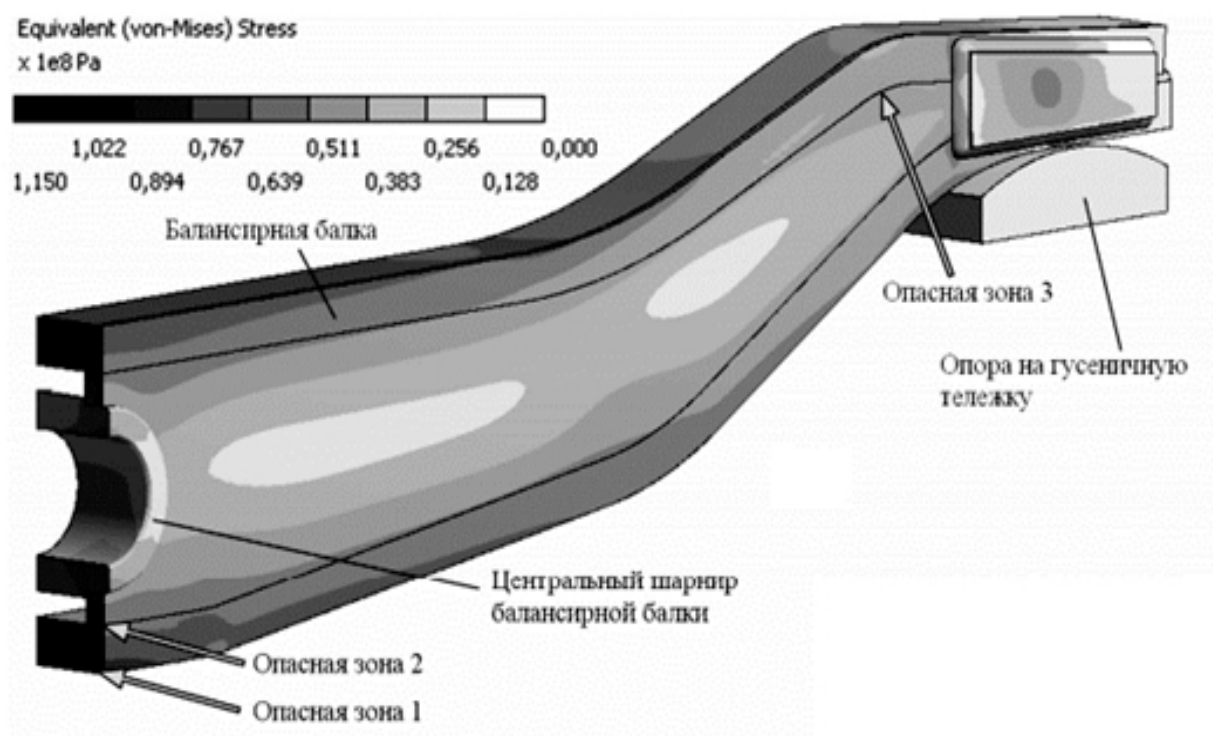
*Рис. 4.11. Подвеска и рама трактора типа Т10. Места образования усталостных трещин на верхнем листе рамы трактора и расчетно – экспериментальные напряжения в них, полученные по математической модели*

Данная математическая модель была применена для прогнозирования ряда динамических процессов, возникающих в условиях, близких к реальной эксплуатации трактора и БРА на его базе, в том числе работы на радиоактивной местности.

Расчет на прочность проводился на основе метода конечных элементов, позволяющего получить наглядную картину напряженно-деформированного состояния всех элементов несущей и ходовой систем трактора.

В качестве примера на рис. 4.12 приведена балансирующая балка трактора Т10.0100 (с механической трансмиссией).

Расчетная картина напряжений в балансирующей балке показывает, что в зоне возможного ее контакта с упором (зона 3) напряжения (при пробое подвески) в 3...4 раза выше уровня общей напряженности и составляют  $\sigma_{\max}=115$  МПа (рис. 4.13).



*Рис. 4.12. Поле напряжений в балансирующей балке трактора Т10.0100 (с механической трансмиссией)*

В результате моделирования подтвердился факт стабильного и достаточно частого появления силовых контактов балансирной балки с упорами (пробой подвески, рис. 4.11), а также зарегистрированы импульсы крутящих моментов, воспринимаемых корпусом бортовых фрикционов.

Анализ поля напряжений свидетельствует о повышенной нагруженности верхнего листа корпуса бортовых фрикционов (рамы трактора). Максимальные напряжения наблюдаются в зонах I и II (рис. 4.11), в которых по данным массовой эксплуатации серийных БРА на базе тракторов Т10 и Т12 зарождаются усталостные трещины (рис. 5.14, 6.5).

Видно, что при «пробое» подвески уровни напряжений в верхнем листе рамы в этих зонах в 3...4 раза выше уровня общей напряженности при обычной работе бульдозера.

***Анализ влияния ПРЗ на прочностные характеристики несущей системы показал, что увеличение веса БА и БРА на 25% (что соответствует реальной массе ПРЗ) приводит к росту напряжений в опасных зонах порядка до 1,5 раз и более.***

Используя приведенную в этом разделе разработанную модель БРА, учитывающую многопараметрическое случайное воздействие внешней среды, учитывая результаты расчетов и анализа влияния, полученных по модели напряжений на прочность конструкции несущей системы, были проведены конкретные мероприятия (разделы 6.5.1, 6.9) исключившие появление приведенных в этом разделе дефектов на машинах.

Представленная математическая модель (4.10) применяется для прогнозирования динамических процессов, возникающих в условиях, близких к реальной эксплуатации БА и БРА, в том числе с ПРЗ, для работы на РЗМ. Моделирование напряженно-деформированного состояния трактора по указанной модели позволяет определять уровни напряженности в наиболее нагруженных зонах (прежде всего у несущей и ходовой систем) на начальном этапе проектирования.

#### **4.6. РАСЧЕТНО – ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИН С УЧЕТОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МЕЖДУ ОБЪЕКТАМИ СВОИМ ХОДОМ**

В отличие от обычного использования МТА на базе гусеничных промышленных тракторов, которые чаще всего между объектами перевозятся на трейлере, *агрегаты с ПРЗ внутри радиоактивной зоны перемещаются самостоятельно.*

Время работы агрегата на РЗМ и соответственно, объем выполненных работ определяются в том числе, и допустимым по ПДД временем работы оператора. Очевидно, что чем быстрее техника осуществляет транспортный переход между объектами, тем больше времени у нее (в том числе по ПДД оператора) останется на работу.

Рассмотрим оценку эффективности тракторного агрегата с учетом транспортного перехода между рабочими объектами на примере БРА на базе тракторов ДЭТ производства ЧТЗ [89, 140].

ДЭТ выбран в качестве базового трактора из-за конструктивных особенностей (торсионная подвеска, ЭМТ, высокая маневренность), позволяющих обеспечить максимальные транспортные и рабочие (в том числе отката) скорости, по сравнению с другими гусеничными промышленными тракторами.

При оценке эффективности использованы результаты испытаний БРА на базе ДЭТ-350 [89, 140].

На полевых испытаниях определено, что трактор ДЭТ-350 способен выполнять один разворот на угол  $90^\circ$  как при переднем, так и при заднем направлении движения БРА в среднем за 12,2с. Скорость разворота трактора с бульдозерно-рыхлительным оборудованием на подготовленной для движения трактора трассе длиной 36,2м в среднем составляет 2,968 м/с (10,68 км/ч).

Скорость транспортного перехода между объектами у трактора ДЭТ-350 с бульдозерно-рыхлительным оборудованием составляет 4,902 м/с (17,65 км/ч).

При последовательной разработке двух объектов часовая производительность бульдозера рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{q_{CP} \cdot N \cdot 3600}{N \left( \frac{L_{PX}}{U_{PX}} + \frac{L_{XX}}{U_{XX}} + t_{OCT} \right) + \frac{L_{ТП}}{U_{ТП}} + 2t_{PB}}, \quad (4.11)$$

где  $P$  – производительность агрегата при обслуживании объектов, м<sup>3</sup>/ч;

$q_{CP}$  – средний объем призмы перемещенного грунта, м<sup>3</sup>;

$N$  – количество циклов бульдозирования;

$L_{PX}$ ,  $L_{XX}$  – длина рабочего и холостого хода бульдозера на траншейной разработке грунта, м;

$U_{PX}$ ,  $U_{XX}$  – скорость рабочего и холостого хода бульдозера на траншейной разработке грунта, м/с;

$U_{ТП}$  – скорость транспортного перехода бульдозера, м/с;

$t_{OCT}$  – среднее время остановок за один цикл бульдозирования, с;

$L_{ТП}$  – длина транспортного перехода между объектами, м;

$t_{PB}$  – время необходимое для одного разворота бульдозера, с.

Статистические оценки показателей, необходимых для определения производительности на двух рассредоточенных объектах, представлены в табл. 4.3.

Показатели технической производительности трактора ДЭТ-350 при обслуживании двух параллельно расположенных объектов с траншейной разработкой грунтов, полученные по формуле (4.11) и осредненным данным результатов испытаний [89, 140], приведены в табл. 4.4 и на рис. 4.13.

**Таблица 4.3**

*Статистические оценки показателей цикла бульдозирования трактора ДЭТ-350 на траншейной разработке грунтов II категории [140]*

№ опыта	$q_{CP}$ , м <sup>3</sup>	$t_{ост.}$ , с	$L_{р.х.}$ , м		$L_{х.х.}$ , м		$U_{РХ}$ , м/с		$U_{ХХ}$ , м/с	
			ср	$\Delta$	ср	$\Delta$	ср	$\Delta$	ср	$\Delta$
1	6,17	3,52	48,4	2,67	45,8	2,78	0,802	0,003	2,800	0,023
2	6,98		51,5	2,88	51,4	2,33	0,855	0,037	4,184	0,301
3	8,19		53,3	1,84	53,1	1,86	0,789	0,004	3,299	0,085
4	8,02		52,5	1,03	48,2	2,99	0,846	0,009	2,891	0,318

**Таблица 4.4**

*Показатели технической производительности трактора ДЭТ-350 с бульдозерно-рыхлительным оборудованием при обслуживании рассредоточенных объектов на грунтах II категории [140]*

Длина трассы, $L_{трасс.}$ м	Производительность бульдозера в зависимости от количества циклов бульдозирования, м <sup>3</sup> /ч					
	3	5	10	15	20	25
148	267,0	282,7	295,8	300,4	302,7	304,2
200	258,0	276,6	282,4	298,0	301,0	302,7
250	245,0	271,0	289,2	295,8	299,3	301,4
300	242,0	265,5	286,1	293,7	297,6	300,0
400	228,5	255,4	280,1	289,4	294,3	297,3
500	216,1	245,9	274,3	285,3	291,1	294,7

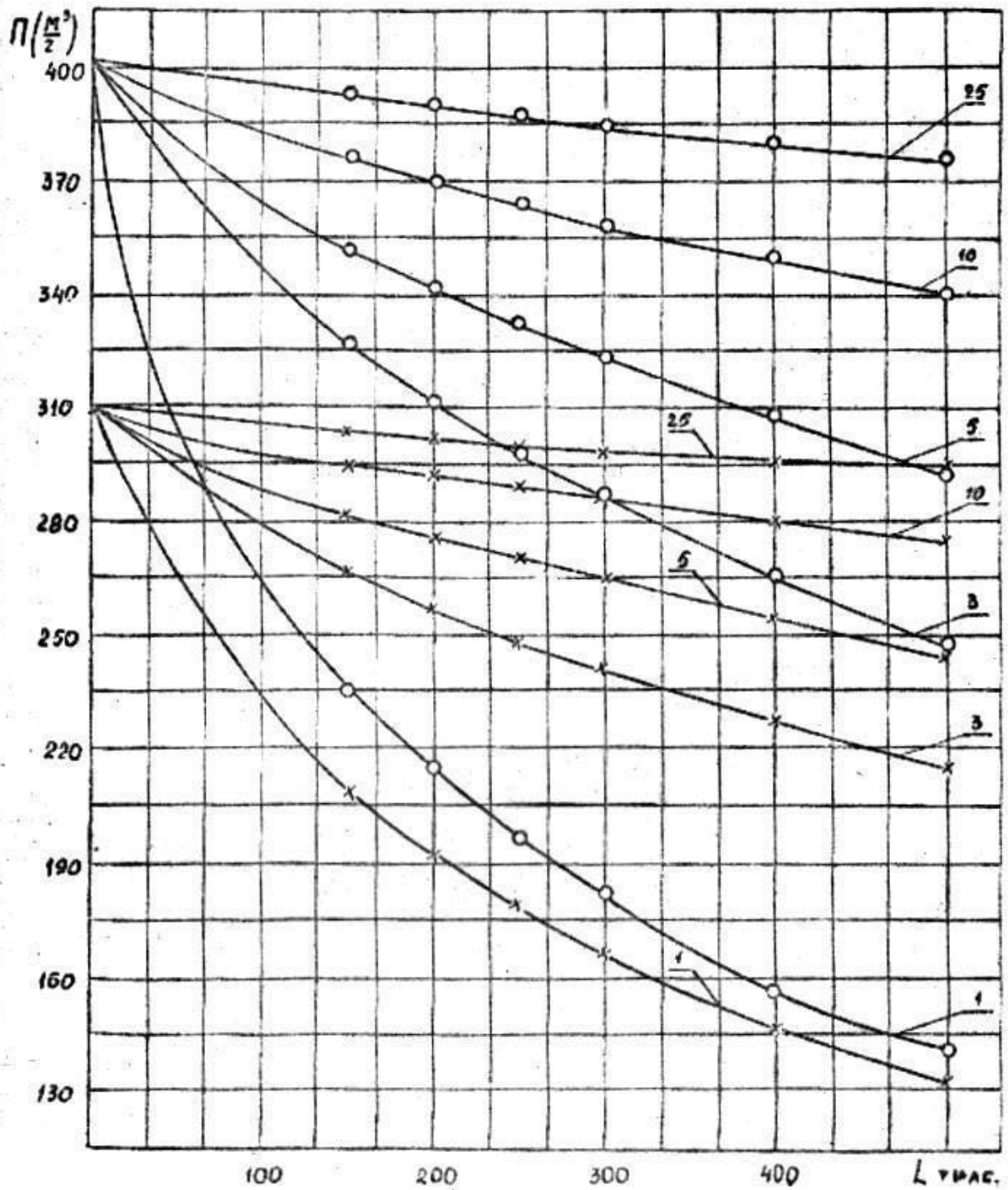


Рис. 4.13. Изменение производительности агрегата ДЭТ-350 в зависимости от длины транспортных переездов и количества рабочих циклов [140].

---x---x--- разработка не мерзлого минерального грунта.

---o---o--- разработка разрыхленного скального грунта.

1, 3, 5, 10, 25 - количество рабочих циклов к одному транспортному режиму.



Если максимальную скорость ДЭТ-350 снизить до 10 км/ч (как у большинства гусеничных промышленных тракторов и БРА на их базе), то техническая производительность бульдозера (по формуле 4.11) с пятью циклами бульдозирования и длиной транспортного перехода 500 м составит 208,5 м<sup>3</sup>/ч. Это 84,7% от базовой технической производительности (с транспортной скоростью 17,65 км/ч) для этих условий, составляющей 245,9 м<sup>3</sup>/ч (см. табл. 4.4).

Очевидно, что с увеличением расстояния между объектами влияние транспортной скорости агрегата на производительность будет расти.

Из приведенных данных видно, что быстроходные гусеничные трактора (типа ДЭТ-350) могут эффективно использоваться при обслуживании рассредоточенных объектов методом их последовательной разработки, используя перемещение своим ходом.

Причем, увеличение количества циклов бульдозирования и скорости транспортного перехода являются одними из основных факторов повышения производительности БА при перемещении между объектами своим ходом.

#### **4.7. ОЦЕНКА СХЕМЫ ПРИВОДА ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ**

Выбор оценки схемы и конструкции силового привода грузового автомобиля проводился совместно с И.В. Докшиным и А.В. Келлером [111]. Рассмотрим выбор схемы силового привода на примере 3-х осных самосвалов, которые наиболее часто применяются на РЗМ.

Большая часть движения автомобилей-самосвалов проходит по грунтовым дорогам среднего и низкого качества, в зоне карьеров, в условиях полного бездорожья, особенно в начальный период организации работ. Самосвалы на РЗМ работают на относительно малом плече пробега, обычно, от 3 до 15 км, с частыми подъемами кузова (до 6 тыс. подъемов в год).

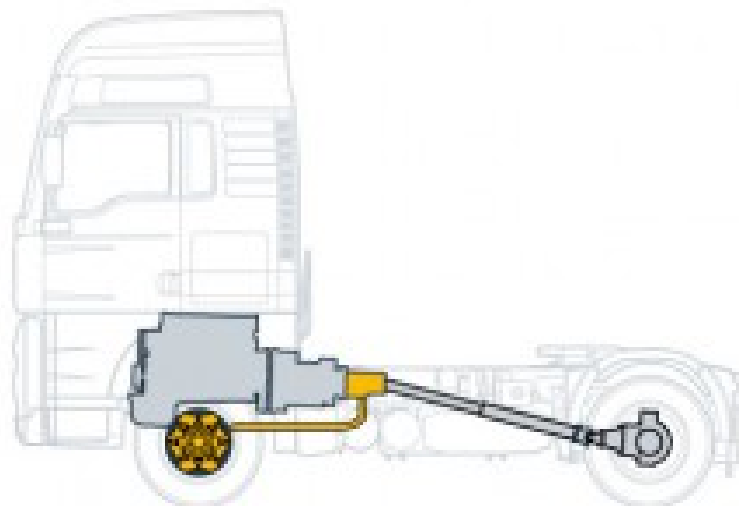
В результате многолетнего опыта проектирования и эксплуатации производители самосвалов приняли определенные компоновочные схемы, которые варьируются лишь в незначительных пределах в зависимости от назначения той или иной машины. Наиболее распространенными в России являются неполноприводные самосвалы, обладающие хорошими показателями по топливной экономичности, но имеющие худшую проходимость. Менее распространены полноприводные самосвалы, которые как правило имеют постоянный полный привод без возможности отключения, что негативно сказывается на топливной экономичности при эксплуатации автомобилей на дорогах с твердым покрытием.

Зарубежные производители самосвалов, в свою очередь активно используют компоновочные схемы с подключаемым полным приводом.

Например, компания «Volvo Trucks» предлагает наряду с механизмами блокировки межосевого и межколёсного дифференциалов использовать систему автоматического полного привода для грузовых автомобилей. Система автоматического подключения переднего ведущего моста «Volvo Trucks» задействует передние колеса при пробуксовке задних колес на скользкой поверхности или мягком грунте. Она включает в себя программное обеспечение, которое анализирует данные от датчиков скорости вращения колес и управляет приводом. Как только задние колеса начинают пробуксовывать, крутящий момент автоматически передается на передние колеса. Благодаря внедрению этой системы улучшается управляемость при вождении, а также снижается расход топлива и уменьшается износ узлов автомобиля.

Компания MAN использует MAN HydroDrive – дополнительный гидростатический привод (рис. 4.14), состоящий из гидравлического насоса высокого давления, двух моторов в ступице колес переднего моста, одного отдельного резервуара для масла, охладителя масла и клапанного блока. Привод рассчитан на движение со скоростью до 30 км/ч.

Во включенном состоянии активация и деактивация происходит автоматически – он автоматически отключается при достижении скорости 30 км/ч и включается при падении скорости до 22 км/ч. Гидропривод обеспечивает проходимость и при этом ощутимо уменьшает расход топлива и увеличивает полезную нагрузку.



*Рис. 4.14. Схема активного привода переднего моста самосвала MAN HydroDrive*

Вопрос о рациональном распределении мощности силовой установки между отдельными колесными движителями всегда находился в центре внимания специалистов [25, 116, 205, 232, 235, 236, 247, 270].

В работах Келлера А.В. [126...128] обоснован новый принцип модифицированного регулирования буксования ведущих колес: мощность, подводимая к ведущим колесам, должна распределяться между ними таким образом, чтобы в каждый момент времени обеспечить пропорциональность их буксований. Обоснованы новые методы управления распределением мощности между ведущими колесами:

1. Метод управления по взаимному отклонению кинематических и силовых параметров ведущих колес. В качестве кинематического параметра предложено использовать радиус качения колеса, в качестве силового – крутящий момент, реализуемый на ведущем колесе.

Момент начала регулирования определяется нарушением обратной пропорциональности между изменением крутящего момента и радиуса качения;

2. Метод комбинированного управления по возмущению и отклонению с прогнозом возмущений, обладающий быстрой реакцией на изменение возмущений и точностью регулирования. Прогнозирование основных возмущений предложено обеспечить путем получения необходимых данных от передних колес автомобиля, на основе которых определяется тип опорной поверхности, а затем с использованием базы данных осуществляется прогноз параметров опорной поверхности (основных возмущений) при проходе последующих колес.

М.А. Малкин, И.А. Куликов в своей работе [144] доказали, что тягово-динамические свойства автомобиля, оснащённого вспомогательным приводом передних колёс, существенно выше в сравнении с неполноприводным аналогом. Результаты проведённых исследований показывают, что привод передних колёс всегда задействован при разгоне автомобиля на скользком опорном основании, что позволяет транспортному средству уверенно преодолевать подъёмы, в том числе в условиях гололёда. Также применение подключаемого переднего привода позволяет при движении по автомагистрали достичь экономии топлива до 14%. Работы А.Т. Скойбеды [224] посвящены дифференциальным механизмам [22, 143] с различными характеристиками блокирующих свойств и дифференциалам с автоматическими блокировками.

В работе Козловской М.А. [132] для трехосного грузового автомобиля малой размерности сельскохозяйственного назначения обоснована схема силового привода содержащая: дифференциальный привод между постоянно включенными передним и средним мостами с возможностью принудительной блокировки межосевого дифференциала; заблокированный привод между средним и задним мостами с возможностью

отключения привода заднего моста, что по мнению автора обеспечит увеличение производительности автомобиля при выполнении транспортной работы в различных условиях эксплуатации. Также разработан и предложен оценочный коэффициент эффективности силового привода  $K_{эф}$ , который по своей структуре содержит параметры топливной экономичности и учитывает условия эксплуатации:

- $K_{эф} = 1$ , если  $Q_{Sp} = Q_{Sh}$  (если расчетный расход равен нормативному);
- $K_{эф} > 1$ , если  $Q_{Sp} < Q_{Sh}$  (т.е. имеет место экономия топлива);
- $K_{эф} < 1$ , если  $Q_{Sp} > Q_{Sh}$  (т.е. при повышенном расходе топлива).

*Предлагается (совместно с И.В. Докшиным и А.В. Келлером) целесообразность использования грузового автомобиля с ПРЗ в режиме полного привода на начальном этапе проектирования определять используя коэффициент эффективности трансмиссии  $K_{эф}$ .*

Этот коэффициент представляет собой отношение потерь мощности на проскальзывание колес при неполноприводной схеме  $N_{доп\ неполн}$  к потерям мощности при полном приводе  $N_{доп\ полн}$ :

$$K_{эф} = \frac{N_{доп\ неполн}}{N_{доп\ полн}}. \quad (4.12)$$

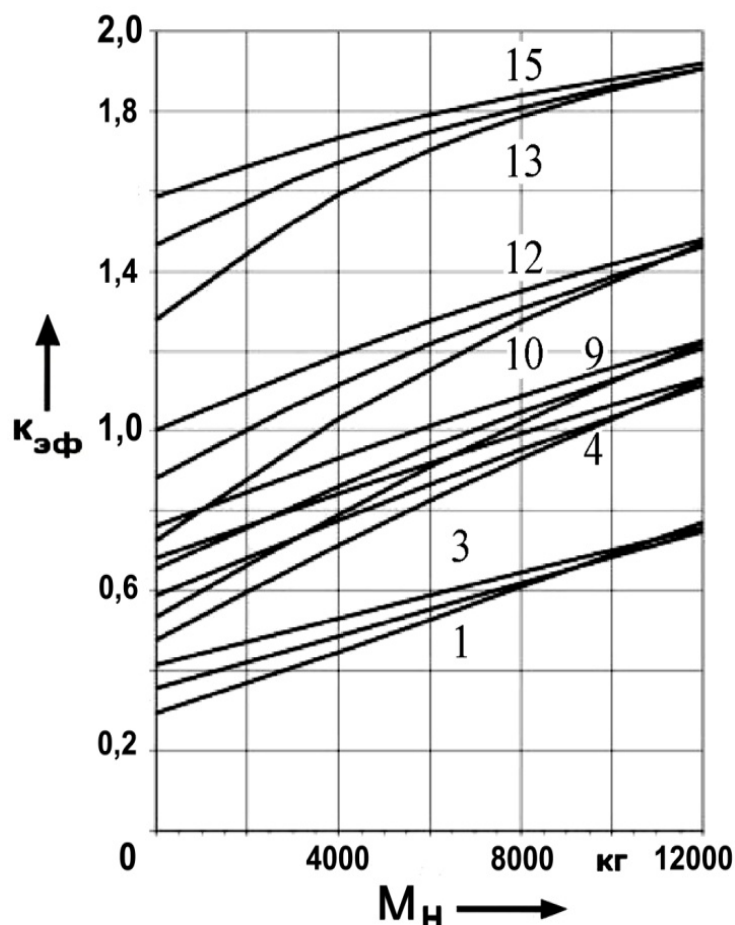
Величина этого коэффициента есть критерий целесообразности выбора схемы привода автомобиля. При  $K_{эф} < 1$  включение переднего моста не рационально, так как потери мощности при полноприводной схеме больше, чем при неполноприводной, а при  $K_{эф} > 1$  наоборот.

Результаты расчетов по определению коэффициента эффективности трансмиссии  $K_{эф}$ , в зависимости от увеличения массы автомобиля  $M_H$ , за счет ПРЗ и массы перевозимого груза, при котором целесообразно включение переднего моста, применительно к автомобилю-самосвалу КАМАЗ-6522 представлены в таблице 4.5 и на рисунке 4.15.

Таблица 4.5

Зависимость коэффициента эффективности трансмиссии  
КАМАЗ – 6522 от нагрузки и сопротивления качению [111]

Условия движения	Масса авто- мобиля, кг	Масса буксируемого автомобиля, кг			
		0	4000	8000	12000
Асфальто- бетон $f=0,022$	10400	0,293	0,447	0,609	0,769
	12975	0,325	0,465	0,61	0,753
	15550	0,356	0,485	0,618	0,749
	18125	0,387	0,508	0,631	0,752
	20700	0,414	0,529	0,644	0,758
Щебеночное шоссе $f=0,032$	10400	0,477	0,712	0,933	1,129
	12975	0,533	0,743	0,94	1,115
	15550	0,587	0,777	0,955	1,115
	18125	0,638	0,812	0,975	1,121
	20700	0,681	0,843	0,994	1,131
Укатанный снег $f=0,035$	10400	0,534	0,789	1,021	1,22
	12975	0,598	0,823	1,029	1,207
	15550	0,657	0,861	1,045	1,207
	18125	0,713	0,898	1,066	1,215
	20700	0,76	0,931	1,087	1,224
Грунтовая дорога $f=0,045$	10400	0,725	1,027	1,275	1,469
	12975	0,807	1,069	1,286	1,459
	15550	0,882	1,112	1,305	1,461
	18125	0,95	1,155	1,327	1,469
	20700	1,004	1,191	1,348	1,479
Размокшая грунтовая дорога $f=0,08$	10400	1,28	1,591	1,784	1,908
	12975	1,382	1,631	1,795	1,904
	15550	1,464	1,669	1,809	1,907
	18125	1,532	1,704	1,825	1,912
	20700	1,584	1,733	1,84	1,919



**Рис. 4.15.** Зависимость коэффициента  $K_{эф}$  эффективности трансмиссии самосвала (на примере КАМАЗ-6522) от массы автомобиля с нагрузкой  $M_H$  (масса ПРЗ + масса груза) при различном сопротивлении качению [111]:

- 1 – 3 – движение по асфальтобетону ( $f = 0,022$ );
- 4 – 6 – движение по щебеночному шоссе ( $f = 0,032$ );
- 7 – 9 – движение по укатанному снегу ( $f = 0,035$ );
- 10 – 12 – движение по грунту ( $f = 0,045$ );
- 13 – 15 – движение по размокшему грунту ( $f = 0,08$ );
- 1, 4, 7, 10, 13 – масса автомобиля 10400 кг;
- 2, 5, 8, 11, 14 – масса автомобиля 15500 кг;
- 3, 6, 9, 12, 15 – масса автомобиля 20700 кг

Таким образом, вышеприведенные данные свидетельствуют о том, что включение в работу переднего моста целесообразно при движении в сложных дорожных условиях с коэффициентом сопротивления качению более 0,045 или при наличии внешних сопротивлений (разгону, подъему, буксированию).

Оценка топливной экономичности для рассматриваемых условий и возможные конструктивные схемы трансмиссии приведены в работе [111].

Поскольку масса ПРЗ однозначно определяется параметрами ГИ на РЗМ и расчетами из 3 главы (без подробной компоновочной схемы), то коэффициент эффективности трансмиссии  $K_{эф}$  позволяет определять рациональную колесную формулу проектируемого автомобиля для заданной местности и предложения по его конструкции с активным приводом переднего моста с возможностью автоматического подключения (отключения) [111] уже на ранней стадии проектирования.

#### **4.8. ТЕХНИКО - ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МАШИНЫ С ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТОЙ**

Технические параметры КГМ (в том числе на начале проектирования) считаются с учетом приведенных в данной работе математических моделей, последовательно решаемых уравнений и рекомендаций (разделы 2.2, 2.4 и др).

**Алгоритм технико-экономической оценки КГМ [67, 77, 87, 92]:**

– выбор базового шасси максимально удовлетворяющего требованиям технического задания по эффективности с учетом защиты оператора от ГИ (производительность; грузоподъемность, для колесной машины – схема привода);

– определение рационального положения оператора на машине (с учетом ПРЗ) и расчет кратности ослабления ГИ узлами шасси и рабочего оборудования;

– расчет уровня защиты (толщины стенок) и массы кабины, исходя из уровня рациональной ПРЗ для конкретной РЗМ с учетом защиты оператора от ГИ узлами шасси и рабочего оборудования;

– выбор массы ПРЗ, исходя из уровня рациональной защиты для конкретной РЗМ и возможности ее установки по грузоподъемности (при



необходимости перерасчет параметров ПРЗ, изменение компоновки, использование другой базы и др.);

- изменение параметров базовой машины (передаточного числа трансмиссии) и рабочего оборудования (объем отвала БА) в связи с ростом общей массы КГМ и положения ЦМ;

- расчет производительности для работы на конкретной РЗМ с учетом влияния дополнительной массы ПРЗ.

- оценка затрат на базовое шасси, ПРЗ и машину в эксплуатации, в том числе на ремонт и ГСМ [16, 87, 103, 111, 135, 215].

**Оценка эффективности эксплуатации машин на РЗМ**, в том числе влияние параметров машины на получение максимальной эффективности в заданных условиях.

Оценка эффективности КГМ с защитой от радиации на конкретной местности осуществляется последовательно:

- расчет необходимой защиты от ГИ базовым шасси, кабиной, рабочим оборудованием;

- выбор технических параметров машины (для получения максимальной производительности) в зависимости от рассчитанной ПРЗ;

- проверка узлов КГМ на прочность (прежде всего несущей системы);

- оценка эффективности машины для конкретных условий работы на заданной РЗМ и т.д.

При оценке эффективности параметров ПРЗ и машины учитываются три основных положения:

1. Уровень защиты от ионизирующих излучений (кратность ослабления ГИ узлами КГМ с ПРЗ) при любых условиях должен обеспечить оператору дозу не выше предельно допустимой дозы (ПДД), прописанной нормами радиационной безопасности и др;

2. Учет ограничений по тактико-техническим характеристикам машины и стоимости ряда ее узлов;

3. Расчет оценки эффективности машины на РЗМ проводится в направлении:

- расчет рациональной по критерию «эффект – затраты» ПРЗ и оценка вклада этой защиты в общую эффективность машины;
- определение общей эффективности машины суммированием оценки вклада ПРЗ и эффективности, связанной с изменениями параметров машины при установке ПРЗ (производительности и затрат).

**Эффективность использования машин с ПРЗ оператора** при заданной ПДД определяется:

- характеристиками поля ГИ РЗМ (мощность и энергия дозы ГИ);
- уровнем биологической защиты оператора;
- технической производительностью машины;
- общими затратами на машину (включая стоимость ПРЗ);
- продолжительностью смены (включая ввод и вывод машины из зоны работ).

Финансовые затраты на КГМ с ПРЗ условно можно разделить на четыре части: затраты на создание машины с обычной кабиной (без ПРЗ); эксплуатационные затраты; затраты на создание защитного экрана кабины; затраты на содержание оператора. Для упрощения оценки в расчетах эффективности первые две части затрат считаем условно постоянными (не зависящими от ПРЗ).

Затраты на создание защитного экрана кабины можно выразить в зависимости от затрат на покупку материала защиты  $Z_{ПРЗ}$ :

$$Z_3 = k_3 \cdot Z_{ПРЗ} = k_3 \cdot C_{ПРЗ} \cdot M_{ПРЗ} , \quad (4.13)$$

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

Затраты на содержание оператора  $Z_{\Sigma O}$  включают в себя:

- затраты  $Z_o$  на обеспечение человеку нормальных условий существования (заработная плата, социальные выплаты и т.д.);

– затраты  $Z_p$  на обеспечение мер по реабилитации ущерба, причиненного здоровью радиацией.

Проблема экономической оценки ущерба здоровью человека от радиоактивного излучения остается дискуссионной и на сегодняшний день. В проекте НРБ-99 затраты на реабилитацию были прописаны как 3000 у.е. на 1 чел.-Зв. (человеко-зиверт). В указанном проекте 1у.е. принимался равным 1\$ США (1 у.е.=78 руб на 1.04.20). Существуют и другие оценки этих затрат, например предложенные Национальными комиссиями по радиационной защите разных стран. В рекомендациях Национальной комиссии по ПРЗ РФ значение цены риска (с учетом мирового опыта) составляет 10000 \$ / чел.-Зв. [151]. Практические ежегодные затраты в РФ на выплату компенсаций и предоставление льгот на территориях, пострадавших от аварии на ЧАЭС, часто превышают 35000 \$/ чел.-Зв. [151].

С учетом вышеизложенного, используя формулы (2.1, 2.3...2.5), получена формула оценки (сравнения различных КГМ, выполняющих одинаковую работу) эффективности работы КГМ на РЗМ с учетом производительности, затрат на изготовление базовой машины и ПРЗ, эксплуатацию, содержание операторов, а также времени входа-выхода из зоны [77, 84, 87]:

$$\mathcal{E}_{1-2} = \frac{\omega_{ч1} \left( Z_{w2} + Z_{э2} + Z_{з2} + Z_{\Sigma 02} \right) T - n_{o1} T_{BB1}^*}{\omega_{ч2} \left( Z_{w1} + Z_{э1} + Z_{з1} + Z_{\Sigma 01} \right) T - n_{o2} T_{BB2}^*}, \quad (4.14)$$

где  $\mathcal{E}_{1-2}$  – относительная эффективность машин; 1 и 2 – индексы, означающие первую и вторую машины;  $\omega_{ч}$  – производительность машины за час чистого времени работы;  $Z_w$  – затраты на создание машины с обычной кабиной, подобной по размерам и внутреннему оборудованию кабине с защитой от ГИ;  $Z_{э}$  – эксплуатационные затраты, зависящие от времени использования машин;  $T$  – время работы машины,  $n_o$  – количество работающих на машине операторов, исходя из ПДД;  $T_{BB}$  – время, затрачиваемое на ввод-вывод машины из зоны работ на исходную площадку.

#### 4.9. ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ

1. Разработана методика расчета технических параметров машины при установке ПРЗ. Технические параметры КГМ считаются с учетом математических моделей, разработанных автором, последовательно решаемых уравнений и рекомендаций.

В общем виде алгоритм расчета параметров машины с ПРЗ содержит следующие этапы:

- выбор базового шасси максимально удовлетворяющего требованиям технического задания по эффективности с учетом защиты оператора от ГИ (производительность; грузоподъемность, дополнительно для колесной машины – схема привода);

- определение рационального положения оператора на машине (с учетом ПРЗ) и расчет ПРЗ узлами шасси и рабочего оборудования;

- расчет уровня защиты (толщины стенок) и массы кабины, исходя из уровня рациональной ПРЗ для конкретной РЗМ с учетом защиты оператора от ГИ узлами шасси и рабочего оборудования;

- выбор массы ПРЗ, исходя из уровня рациональной защиты для конкретной РЗМ и возможности ее установки по грузоподъемности (при необходимости перерасчет параметров ПРЗ, изменение компоновки, использование другой базы и др.);

- изменение параметров базовой машины (передаточного числа трансмиссии) и рабочего оборудования (объем отвала БА) в связи с ростом общей массы КГМ и положения ЦМ;

- проверка узлов КГМ на прочность (прежде всего несущей системы);

- расчет производительности для работы на конкретной РЗМ с учетом влияния дополнительной массы ПРЗ.

2. При смещении положения центра давления машины из-за установки ПРЗ, по сравнению с оптимальным положением ЦД (по максимуму тягового КПД), параболически растет сопротивление

движению и буксованию, что снижает тяговые свойства машины (снижает максимум тягового КПД).

Для увеличения тягового КПД КГМ с ПРЗ необходимо увеличение передаточного числа трансмиссии базовой машины пропорционально увеличению веса машины. Дополнительное увеличение производительности БА с ПРЗ оператора с измененным (относительно базовой машины) передаточным числом трансмиссии возможно при соответствующем (пропорциональном увеличению массы БА за счет ПРЗ) увеличении емкости отвала.

Получены новые коэффициенты в формулах Гинзбурга, предназначенных для определения тяговых КПД, с учетом значительного изменения места полюса давления КГМ при установке ПРЗ, характерных при работе бульдозеров и колесных грузовых машин с защитой от ионизирующих излучений.

3. Разработана математическая модель для прогнозирования динамических процессов, возникающих в условиях, близких к реальной эксплуатации БА с ПРЗ.

Моделирование напряженно-деформированного состояния бульдозера по указанной модели позволяет определять уровни напряженности в наиболее нагруженных зонах на начальном этапе проектирования.

4. Оценено влияние места установки кабины на возможный уровень ПРЗ оператора для различных колесных и гусеничных машин, работающих на РЗМ.

Предпочтение, с точки зрения защиты оператора от радиоактивных излучений, имеет техника с защитной кабиной, установленной:

- у гусеничных землеройных машин в средней части шасси,
- у колесных грузовых машин – по классической компоновочной схеме – за двигателем и передними колесами.

5. На основе методов теории вероятности и математической статистики (по соответствующим данным современных бульдозеров) получены новые корреляционные зависимости (в виде формул и графиков) объемно – массовых характеристик БО от конструкционной массы базового трактора с учетом последних образцов серийных бульдозеров российского и зарубежного производства.

Эти зависимости можно использовать при оценке технического уровня конкретных серийных БА (в том числе с ПРЗ), а также при выборе рассмотренных параметров БО при проектировании новых и модернизации существующих бульдозеров. Полученные зависимости имеют высокие значения коэффициента корреляции Пирсона, что подтверждает – данный подход к выбору оптимальных исследуемых параметров БО у рассматриваемых основных производителей бульдозеров совпадает, и соответствующие взаимосвязи описываются предлагаемыми уравнениями и графиками достаточно точно.

6. Введен коэффициент эффективности трансмиссии  $K_{эф}$  грузового автомобиля позволяющий определять рациональную (по потерям мощности) колесную формулу проектируемого автомобиля для заданной РЗМ уже на ранней стадии проектирования.

7. Для машин на базе гусеничных промышленных тракторов расчетно – экспериментальным методом (при испытаниях БРА с ПРЗ на ЧТЗ) получены уточняющие коэффициенты снижения технической производительности бульдозеров (без изменения параметров базового БРА) при установке защиты от ГИ в зависимости от параметров РЗМ.

## **ГЛАВА 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ И КОНСТРУКЦИЙ МАШИН С ЗАЩИТОЙ ОТ РАДИАЦИИ**

Точность расчетных методов оценки параметров КГМ с ПРЗ и защиты оператора от ГИ РЗМ все еще недостаточна. Это связано с трудностями всесторонней оценки технических характеристик машины и распределения ГИ в условиях сложной компоновки машины. Так, например, общая погрешность суммарной кратности ослабления излучения в расчетной точке объекта по сравнению с данными измерений, полученных экспериментально, на сегодняшний день составляет от 10% до 20...25% [49, 115].

Поэтому необходима экспериментальная проверка теоретических исследований параметров машины с ПРЗ и конкретных решений по ее конструкции.

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

- на первом этапе определялись общие уровни ПРЗ конкретной техники на различных облучателях [82];
- на втором этапе оценивались технические параметры и характеристики машин (прежде всего тяговые и производительность), которые затем сравнивались с аналогичными параметрами базовых машин и их аналогами;
- на третьем этапе при работе БРА (на транспортном и рабочем режимах на разных грунтах) оценивались прочностные характеристики машин, с помощью тензодатчиков замерялись напряжения в наиболее нагруженных расчетных точках;

– на четвертом этапе проводилась оценка ПРЗ кабин, а также оценка качества их изготовления методом гаммаграфии, с использованием плоского гамма-облучателя (определялись ослабленные по защите зоны);

## **5.1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗАЩИТЫ ОТ РАДИАЦИИ УЗЛАМИ МАШИНЫ**

Работы по экспериментальному исследованию ПРЗ оператора проводились по ГОСТ В 23731 [58], разработанным НИИСтали методикам на установках «Арка» и «Имитатор» [160, 200, 210], использовались точечные изотропные гамма-источники  $^{137}_{55}\text{Cs}$  и  $^{60}_{27}\text{Co}$  с энергией гамма-квантов  $E_{\gamma} = 0,66 \text{ МэВ}$  и  $E_{\gamma} = 1,25 \text{ МэВ}$  соответственно, и методике РФЯЦ НИИТФ [31, 124, 202], с использованием плоского однородного изотропного гамма-облучателя (со средней энергией  $E_{\text{уср}} = 0,8 \text{ МэВ}$ ).

### **5.1.1. Цель, объекты и методика испытаний**

Целью экспериментальных исследований ПРЗ являлась 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 объектов испытаний использовались:

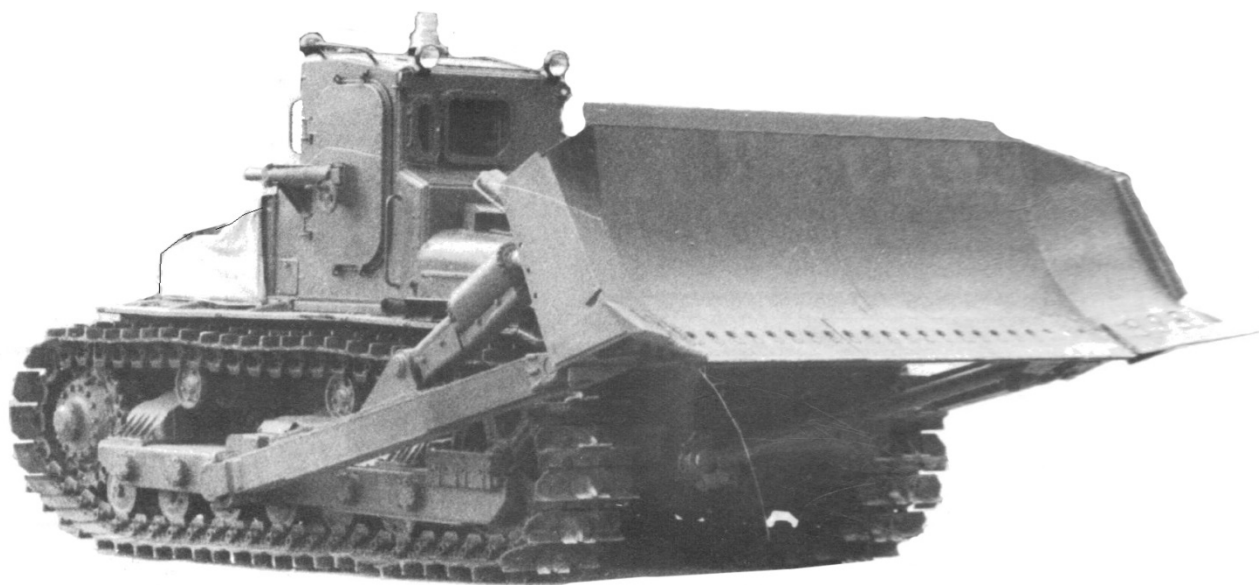
- опытные образцы бульдозеров ДЗ-171.1КЗ (на базе трактора Т-170.61), ДЗ-132-1КЗ (на базе трактора ДЭТ-250М2) (рис. 5.1);
- демонтированные с бульдозеров кабины с повышенными противорадиационными характеристиками (ПРХ),
- грузовые автомобили Урал-4320, ЗИЛ-131, ГАЗ-66.

Конструктивно кабины были выполнены одинаково, с равным уровнем защиты, и представляли собой трубчатый каркас, обшитый снаружи и внутри стальными листами. Полости труб и между листами заполнялись свинцом. Окна кабины выполнялись из специального свинцовистого стекла марки ТФ-5.





*а*



*б*

*Рис. 5.1. Бульдозеры для работ на РЗМ:  
а – ДЗ-171-1КЗ (на базе трактора Т-170.61);  
б – ДЗ-132-1КЗ (на базе трактора ДЭТ-250М2)*

## Основные положения методики испытаний

Методики экспериментальной оценки уровня биологической защиты включают в себя следующие основные положения:

1. Уровень ПРЗ оператора у образца (машины в целом или отдельных её узлов, например кабины) определяется кратностью ослабления дозы ГИ РЗМ.

2. Под кратностью ослабления дозы ГИ принимается отношение дозы (мощности дозы) ГИ на открытой местности в отсутствие образца (вне образца) к дозе (мощности дозы), измеренной на рабочем месте человека в образце.

3. Для оператора уровень ПРЗ определяют в двух биологических точках: в месте расположения головы (точка «А») и нижней части живота (точка «Б»).

4. Кратность ослабления ГИ ( $K$ ), характеризующая уровень биологической защиты образца определялась следующим образом:

$$\begin{aligned} K &= K_B \text{ при } K_B / K_A \leq 2 \\ K &= 2K_A \text{ при } K_B / K_A > 2 \end{aligned} \quad (5.1)$$

Эта кратность, если не оговорены других условия, принимается по ГИ от поверхности земли. При необходимости кратность ослабления определяется для отдельных сосредоточенных источников. В ряде работ для военных машин ПРЗ определяется формулой  $K = \sqrt{K_A \cdot K_B}$ .

5. Испытания проводят по программам и методикам, в которых предусмотрены конкретные условия проведения испытаний (количество курсовых углов, конкретные положения источников при измерениях и т.п.), построение и содержание программ и методик испытаний должно соответствовать требованиям, установленным в ГОСТ В 15.210.

6. Требования к источникам и полю ГИ изложены в ГОСТ В 23731 [58]. Требования к спецстеклам согласно ОСТ 95.23-83.

7. Для вычисления кратностей ослабления дозы при испытаниях должны быть измерены следующие параметры поля ГИ: доза естественного фона ГИ; доза ГИ на открытой местности (т.е. при отсутствии объекта) и внутри объекта.

8. Детекторы излучения устанавливаются в точках А и Б на уровне головы и низа живота оператора внутри объекта.

9. Данные результатов измерений обрабатывают в соответствии с требованиями, установленными в ГОСТ 8.207-76, МИ 1317-86.

10. При испытаниях ПРЗ кратность ослабления дозы в общем случае вычисляют по формуле:

$$K = \frac{\sum_{n=1}^m (\overline{N_{on}} - \overline{N_{of}})}{\sum_{n=1}^m (\overline{N_{in}} - \overline{N_{if}})}, \quad (5.2)$$

где  $n = 1 \dots m$  – количество положений источника ГИ при испытаниях объекта;

$N_{on}$ ,  $N_{in}$  – усредненные по числу замеров значения показаний приборов при замере дозы излучения на открытой местности и в  $i$ -той точке внутри объекта при  $n$ -м опыте;

$N_{of}$ ,  $N_{if}$  – усредненные по числу замеров значения показаний приборов при замере дозы излучения естественного фона на открытой местности и в  $i$ -той точке внутри объекта при  $n$ -м опыте.

11. В ходе измерений образец должен находиться в транспортном и или рабочем положении.

Для машин, у которых в транспортных и рабочих положениях могут быть разные значения уровня защиты оператора от ГИ (например, БА или БРА, соответственно с поднятым и опущенным отвалом), необходима отдельная оценка защиты в этих положениях. Двери кабины, крышки люков должны быть закрыты.

12. При подготовке и проведении испытаний ПРЗ необходимо соблюдать правила техники безопасности, в том числе установленные в ОСП-99 и НРБ-99/2009 [156, 157].

### 5.1.2. Определение уровня защиты узлами машины от радиации на установках «Имитатор» и «Арка»

**Установка «Имитатор»** позволяет определять защиту оператора от ГИ грунта РЗМ. Установка представляет собой трубопровод, который уложен на ровной поверхности в виде концентрических окружностей (рис. 5.2). Внутри трубопровода перемещается рабочий контейнер с точечными источниками излучения. При проходе источника излучения через контрольные точки происходит автоматическая регистрация показаний измерительной аппаратуры [160].

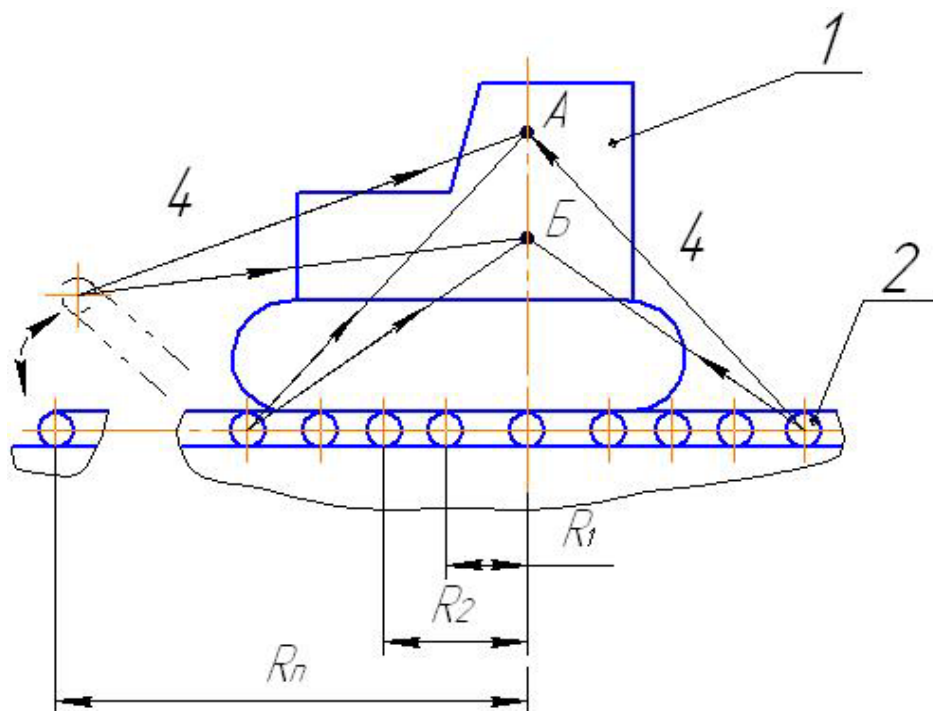
Последний виток установки можно поднимать относительно уровня площадки, имитируя таким образом соответственно увеличение площади заражения или моделирование рассеянного в воздухе излучения.

Объект в установке располагают таким образом, чтобы точки *A* и *B* находились в центре круга, который описывают окружности «Имитатора».

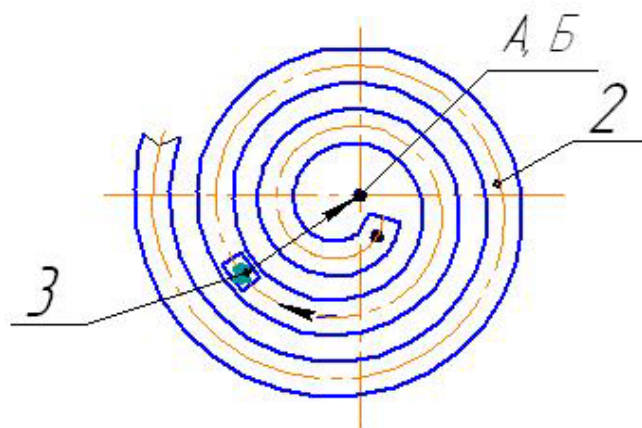
Мощность дозы в точках *A* и *B* определяется путем интегрирования по площади круга вкладов  $dP$  от точечных изотропных источников излучения. Точность модели поля идеализированной РЗМ определяется числом и величиной радиуса окружностей, которые описывают эту круговую модель, а также количеством расчетных точек.

**Установка «Арка»** (рис. 5.3) позволяет фиксировать источники ионизирующих излучений в любой точке полусферы радиуса 5,5 м. При испытаниях объект устанавливают таким образом, чтобы прямая соединяющая точки *A* и *B* и ось вращения дуги установки совпадали [82].

Измерения проводились с шагом  $30^\circ$  по азимутальному углу. Точечный источник ГИ перемещался по дуге от поверхности земли с шагом 1 метр. В местах представляющих особый интерес с точки зрения защиты (возможные ослабленные зоны) проводились дополнительные измерения с меньшим шагом изменения положения источника.

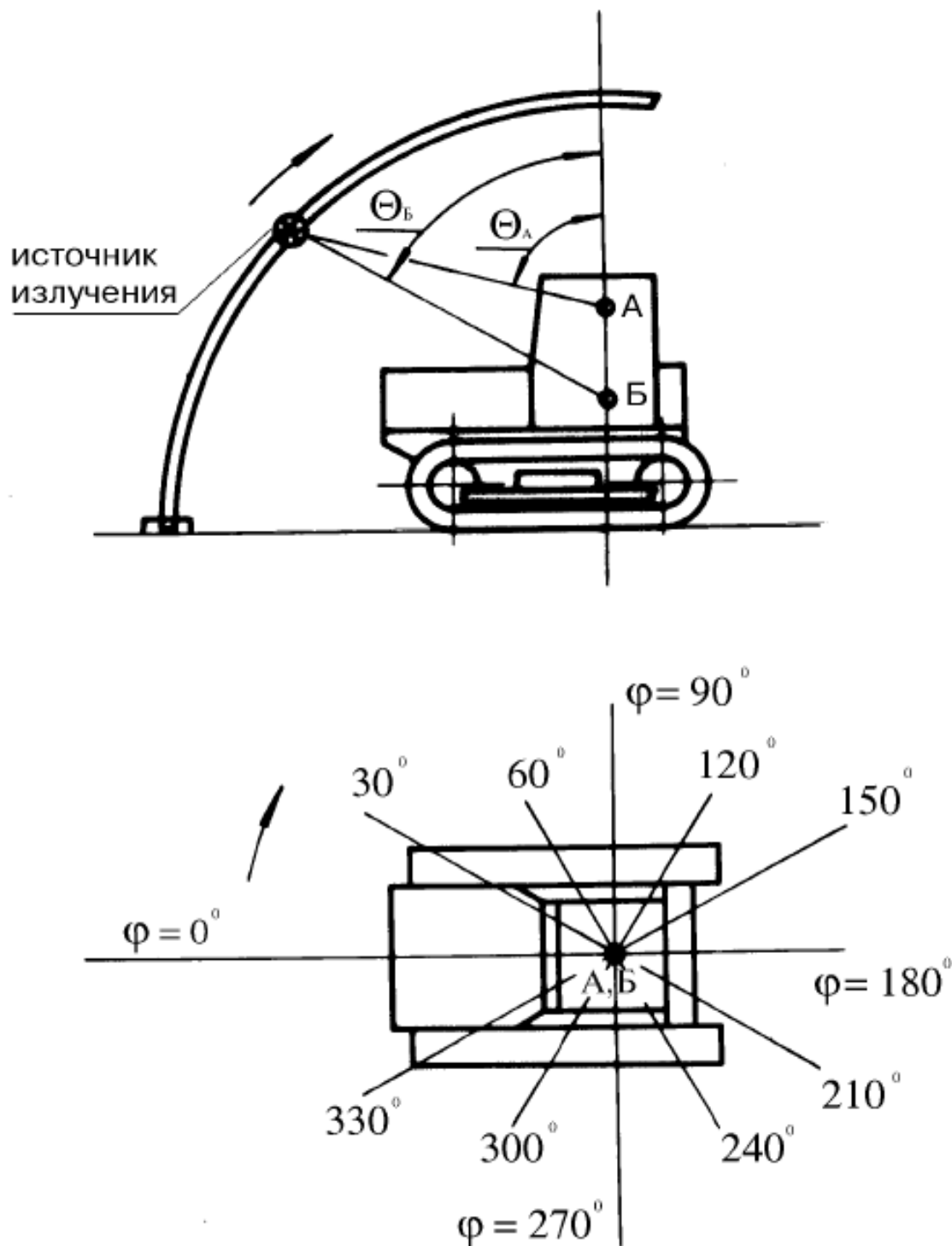


*Вид на установку сверху  
(без объекта испытаний)*



**Рис. 5.2.** Схема установки «Имитатор»

1 – объект испытаний, 2 – трубопровод, внутри которого перемещается контейнер 3 с источником ГИ, 4 – некоторые возможные направления ГИ (от контейнера с источником) в расчетные точки оператора



**Рис. 5.3.** Схема расположения установки «Арка» и объекта испытаний  $\varphi$  – азимутальный угол (изменение положения источника по горизонтали),

$\theta$  – вертикальный угол (изменение положения источника по вертикали), соответственно для точек А и Б

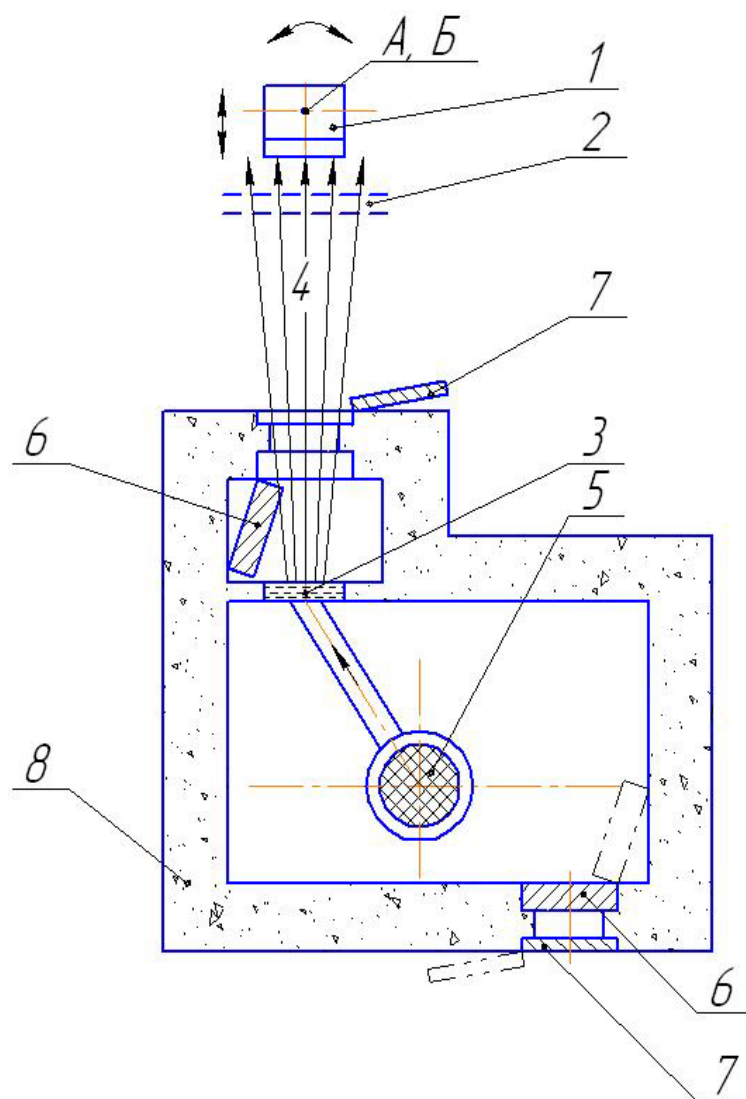
### **5.1.3. Проверка противорадиационной защиты кабины на плоском гамма-облучателе. Оценка качества изготовления кабин**

Для оценки уровня и качества изготовления ПРЗ предлагается использовать методику с применением плоского гамма-облучателя.

В принципе оценить влияние узлов машины (прежде всего кабины) на защищенность оператора от ГИ можно на установках «Имитатор» и «Арка». Однако оперативный контроль качества изготовления кабины и ее отдельных узлов (стенок-панелей и др.) на этих установках практически неприемлем из-за своей большой трудоемкости. Кроме того, *ослабленная по ПРЗ зона машины, могла оказаться между шагами измерений и, соответственно, не обнаружиться при испытаниях на установках «Имитатор» и «Арка».*

Для оперативного и качественного контроля изготовления кабины и ее отдельных узлов (стенок, соединений, стыков и др.) были предложены и проведены дополнительные испытания защиты кабины на плоском гамма – облучателе. *Его конструкция позволяет сформировать источник, точно соответствующий полю излучения РЗМ, с мощностью во много раз выше, чем на установках «Имитатор» и «Арка».*

**Плоский гамма-облучатель** (4 модуля Р56-Л1736) располагался в реакторном зале у транспортных ворот, представляющих собой подвижные железобетонные блоки и обеспечивающие биологическую защиту при работе реактора (рис. 5.4). Кабины с детекторами устанавливали на площадке у закрытых транспортных ворот. После чего на реакторе генерировали импульс делений. Проводилась выдержка топливного раствора в течение часа, при этом нейтронная компонента запаздывающего излучения практически исчезала. После выдержки топливный раствор подавался в модули гамма-облучателя, образуя плоский источник ГИ. При заполненном облучателе подвижные блоки биологической защиты раздвигались, открывая, таким образом, канал вывода излучения к детекторам и исследуемому объекту.



**Рис.5.4.** Схема установки с плоским гамма – излучателем

1 – объект испытаний (кабина), 2 – место расположения наружных детекторов, 3 – плоский источник ГИ, 4 – лучи ГИ в направлении кабины, 5 – реактор, 6 – дверь биозащитная, 7 – дверь герметичная, 8 – стенка зала реактора

По истечении времени, необходимого для измерения определяемых параметров, блоки биологической защиты сводились, прерывая вывод излучения. После смены ориентации кабины или замены детекторов блоки биологической защиты разводились, и проводился следующий цикл измерений. Время измерения, необходимое для проверки защитных свойств одной грани кабины, сводилось до 0,5 часа без учета времени на подготовку и обработку результатов измерений [31, 124, 202].



## **Проверка качества изготовления защитного экрана кабин**

Наличие дефектов в ПРЗ кабины (поры, раковины, трещины...), особенно по толщине защитного экрана, приводит к значительному ослаблению уровня защиты в целом.

На испытаниях качества защиты кабин от ГИ с использованием плоского гамма-облучателя использовался метод гаммаграфии, который позволяет проводить практически 100% дефектоскопию металлических изделий с приведенной толщиной до 60 мм свинца, с разрешением дефектов до 3...5 мм (рис. 5.5).

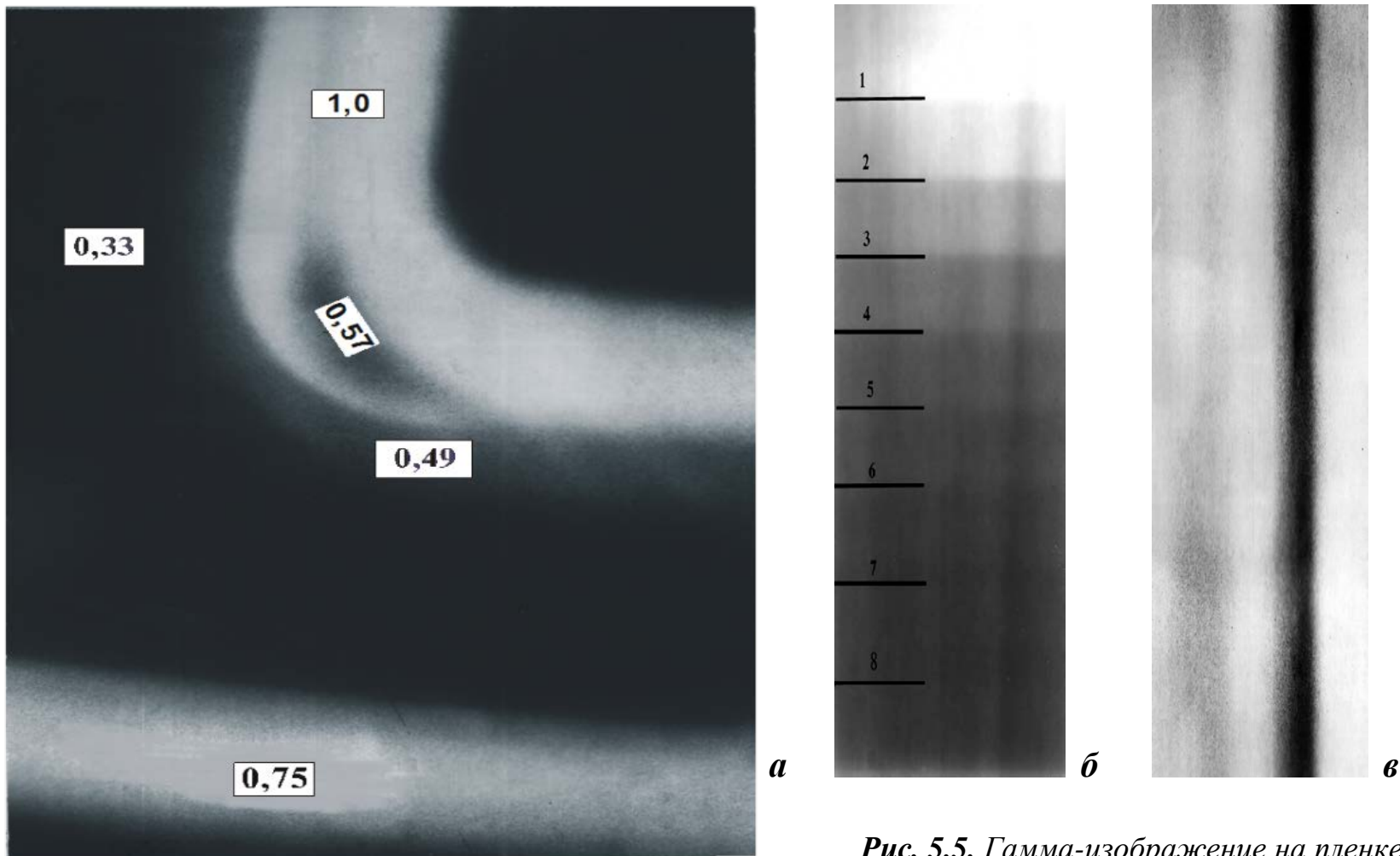
В качестве детектора использовалась рентгеновская фотопленка Kodak XAR-5. Пленка помещалась внутри кабины непосредственно на облучаемой панели. Для повышения контраста изображения проводилась перепечатка на фототехническую пленку ФТ-41.

Погрешность измерений рентгеновскими фотопленками составляет 15...30%.

По рентгеновскому снимку есть возможность также проводить количественную оценку степени защиты отдельных элементов. Пример гамма – изображения элемента кабины в районе окна передней панели приведен на рис. 5.5а, цифрами показан относительный уровень ослабления излучения. Повышенное затемнение соответствует большому пропусканию излучения [82, 124].

Среднее значение кратности ослабления излучения кабины, замеренное на плоском гамма-излучателе составило  $K = 36 \text{ крат}$ , что хорошо коррелируется с результатом, полученным на установке «Арка».

В результате испытаний подтверждено, что кроме окон ослабленными местами в кабинах с трубчатым каркасом являлись места соединения защитных панелей между собой (рис. 5.5в).



**Рис. 5.5.** Гамма-изображение на пленке:

*а – участка кабины в районе окна (цифрами показан относительный уровень ослабления ГИ отдельных зон); б – свинцового клина-эталона (цифрами показано расположение ступенек клина высотой 5 мм, толщина клина в районе 5 ступени 50 мм), в – прострел излучения через сталь трубы стенки (кабина под углом 45° к потоку ГИ)*

#### **5.1.4. Результаты экспериментов по оценке защиты конкретных машин. Сравнение с результатами теоретических исследований**

В таблице 5.1 приводятся конкретные данные по уровню защиты оператора от ГИ РЗМ узлами бульдозеров (тракторов) и грузовых автомобилей. Погрешность приведенных измерений обычно составляет до 10...15% в зависимости от метода испытаний и применяемых датчиков.

**Полученные данные экспериментальных исследований хорошо согласуются с данными теоретических расчетов.** Расхождение между расчетной оценкой защиты по формулам (3.7), (3.11), (3.22) и расчетно-экспериментальной оценкой (см. табл. 5.1) не превышает 13% [12, 124, 200]. Что вполне допустимо, учитывая погрешность измерений. Расхождение между расчетной оценкой защиты и расчетом по ГОСТ В 26457 для техники на базе тракторов Т10, Т10М, Т10МБ, Т12, ДЭТ-250, ДЭТ-320, автомобиля Урал-4320, колесного погрузчика ПК-46 не превышает 10% [79].

Из таблицы 5.1 видно значительное влияние базового шасси и места положения оператора на нем на общий уровень ПРЗ машины, особенно для бульдозеров (табл. 5.1а, последняя колонка «отдельно по шасси»). Базовое шасси ДЭТ-250М2 имеет большие габаритные размеры и лучшее относительное положение (с точки зрения защиты) оператора.

Для колесных машин можно отметить, что уровень защиты от ГИ РЗМ для точки «Б» пассажира грузового автомобиля выше, чем у водителя. Очевидно, это связано с его лучшей защитой узлами шасси (меньше смещение от продольной оси машины, на которой расположены двигатель и коробка передач). Заниженное расчетное значение  $K_w$  (табл. 5.1б) для ряда автомобилей (до 7%) по точке «А» получается из-за неучета влияния на защиту ряда узлов (рамы, рулевого управления и др), завышенное по точке «Б» из-за незначительного частичного выхода проекции шасси за габарит поля ГИ установки.

**Таблица 5.1а**

Результаты испытаний машин по определению кратности ослабления излучения в соответствии с ГОСТ В 23731-79, для  $E_{\gamma} = 0,8 \text{ МэВ}$

Бульдозер	Базовое шасси, на котором установлена защитная кабина	Уровень защиты оператора				
		Отдельно по кабине К	По машине в целом		Отдельно по шасси	
			$K_{MA}$	$K_{MB}$	$K_{WA} = K_{MA}/K$	$K_{WB} = K_{MB}/K$
ДЗ-171.1КЗ	Т-170.61	$36^{*1}$	$76,9^{*3}$	$99,1^{*3}$	$2,14 (1,91^{*4})$ $1,78^{*5}$	$2,75 (2,70^{*4})$ $2,88^{*5}$
ДЗ-132-1КЗ	ДЭТ-250М2	$(33^{*2})$	$83,9^{*3}$	$129,2^{*3}$	$2,33 (2,57^{*4})$ $2,62^{*5}$	$3,59 (3,88^{*4})$

**Таблица 5.1б**

Результаты испытаний серийных грузовых автомобилей по определению уровня ПРЗ от ГИ РЗМ ( $E_{\gamma} = 0,8 \text{ МэВ}$ ) на месте водителя и ближнего к нему пассажира в соответствии с ГОСТ В 23731-79 [36].

Марка автомобиля	Водитель		Пассажир (ближний к водителю)	
	$K_{WA}$	$K_{WB}$	$K_{WA}$	$K_{WB}$
Урал - 4320	$1,5^{*3}$	$1,8^{*3}$	$1,5^{*3}$	$1,9^{*3}$
	$1,34^{*5}$	$1,82^{*5}$	$1,35^{*5}$	$1,93^{*5}$
Зил-131	$1,6^{*3}$	$1,9^{*3}$	$1,6^{*3}$	$2,1^{*3}$
	$1,42^{*5}$	$1,95^{*5}$	$1,45^{*5}$	$2,12^{*5}$
ГАЗ-66	$1,45^{*3}$	$1,65^{*3}$	н.д.	н.д.
	$1,30^{*5}$	$1,68^{*5}$	$1,32^{*5}$	$1,69^{*5}$

\*1 – значение получено с использованием плоского изотропного источника (4 модуля Р56-Л1736) и пересчитано в соответствии с условиями испытаний на установке «Имитатор», дозиметр установлен в геометрическом центре кабины на уровне груди оператора [200],

\*2 – точечный источник излучения с любого направления (установка «Арка», приложение 3) [200],

\*3 – поле ГИ на грунте (установка «Имитатор») [12, 200],

\*4 – расчетные значения по ГОСТ В 26457-85[59].

\*5 – расчетные значения по формуле (3.7), у ДЭТ-250 значение в точке «Б» не показано, т.к. проекция шасси вышла за габарит поля ГИ установки

Кроме того, у рассматриваемых в эксперименте машин с толщиной свинца в стенках кабины 36 мм, расхождение результатов эксперимента и теоретических расчетов в целом по машине находится в допуске на изготовление свинцового экрана  $\pm 1,5$  мм. Отношение допуска на изготовление свинцового экрана к его толщине – 8 %.

Испытания показывают, что коэффициент ослабления излучения изменяется в очень широких пределах.

Рассмотрим, например, защищенность оператора от точечного источника ГИ, полученную при анализе результатов измерений на установке «Арка» (рис. 5.3, 6.1, 6.2) [12, 82, 200]. Видно значительное влияние, оказываемое ослабленными зонами (уровень защиты которых намного ниже усредненной оценки уровня защиты самого объекта испытаний по ГОСТ В 23731) на кратность ослабления излучения.

К этим зонам по кабине можно отнести окна кабины и места соединения защитных панелей между собой (стенки трубчатого каркаса). Они в основном влияют на уровень ослабления излучения с верхней полусферы и для головы оператора (биологическая точка «А»). Уровень защиты ослабленных зон кабины от точечного источника ГИ с  $E_\gamma = 0,8$  МэВ составляет примерно 75% от уровня защиты, обеспечиваемого стенками кабины [200].

С увеличением энергии и мощности излучения разница между уровнями защиты ослабленных зон и самих панелей будет резко увеличиваться.

Ослабленные зоны по защите оператора от ГИ во многом определяются местом установки кабины (рис. 6.1, 6.2), которое в основном влияет на уровень ослабления излучения с нижней полусферы и в большей степени для низа живота оператора (биологическая точка «Б»).

Смещение продольной оси кабины вправо на 670 мм (по ходу движения) от продольной оси шасси трактора ДЭТ-250М2 приводит к тому, что уровень защиты от источников ГИ, располагающихся справа от машины (курсовые углы 30...150°) значительно ниже, чем у машины в целом (см. рис. 6.2).

Очевидно, что то же самое будет происходить и при защите от поля ГИ РЗМ.

Причины образования ослабленных зон и мероприятия по их устранению подробно рассмотрены в разделах 6.1, 6.3 и 6.5 данной работы.

Очевидна зависимость уровня защиты оператора подобных машин от точности и качества изготовления защитного экрана стенок кабины (отсутствие щелей, пор, других дефектов в ПРЗ кабины).

## **5.2. ТЯГОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ МАШИН**

Тяговые испытания проходили на тракторах ЧТЗ (Т10 и ДЭТ-350) с бульдозерно - рыхлительным оборудованием по методике ГОСТ 27247 с приложением нагрузки за стойку рыхлителя [54].

### **5.2.1. Цель, объекты и методика испытаний**

Для проверки полученных теоретических результатов по влиянию смещения центра масс на тяговые свойства машины были проведены тяговые испытания машин с разным расположением кабины.

В качестве объектов исследования были взяты трактора и БРА на их базе:

– Т10 (Б10) с задним расположением кабины (смещение центра давления 0,15 м),

– ДЭТ-350 со средним расположением кабины (без смещения центра давления).

Определение размерных и весовых характеристик, а также координат центра тяжести тракторов в агрегате с бульдозерным и рыхлительным оборудованием, ряда показателей БРА (в том числе навесной системы с гидроприводом) проводились УралНИИС НАТИ на площадке, а также на стенде КЦТ 100 и весовом комплексе 4225К-100 по методикам ГОСТ 23734-98 [51].

Тормозные испытания двигателей для определения их мощностных и экономических показателей обеспечивались торможением вала отбора мощности тракторов на тормозных стендах DS1326-6k/v и др.

Загрузка тракторов во время тяговых испытаний осуществлялась двумя динамометрическими лабораториями ДЛ-30 и ДЛ-35. Для тяжелых БРА типа ДЭТ лаборатории сцеплялись между собой последовательно или использовалась одна лаборатория и дополнительный трактор (рис. 5.6).

Тяговые эксперименты проводились по методике ГОСТ 27247 на специально подготовленной грунтовой дороге испытательной базы Челябинского тракторного завода.



*Рис. 5.6. Тяговые испытания трактора ДЭТ-350. Использование динамометрической лаборатории при тяговых испытаниях тракторов*

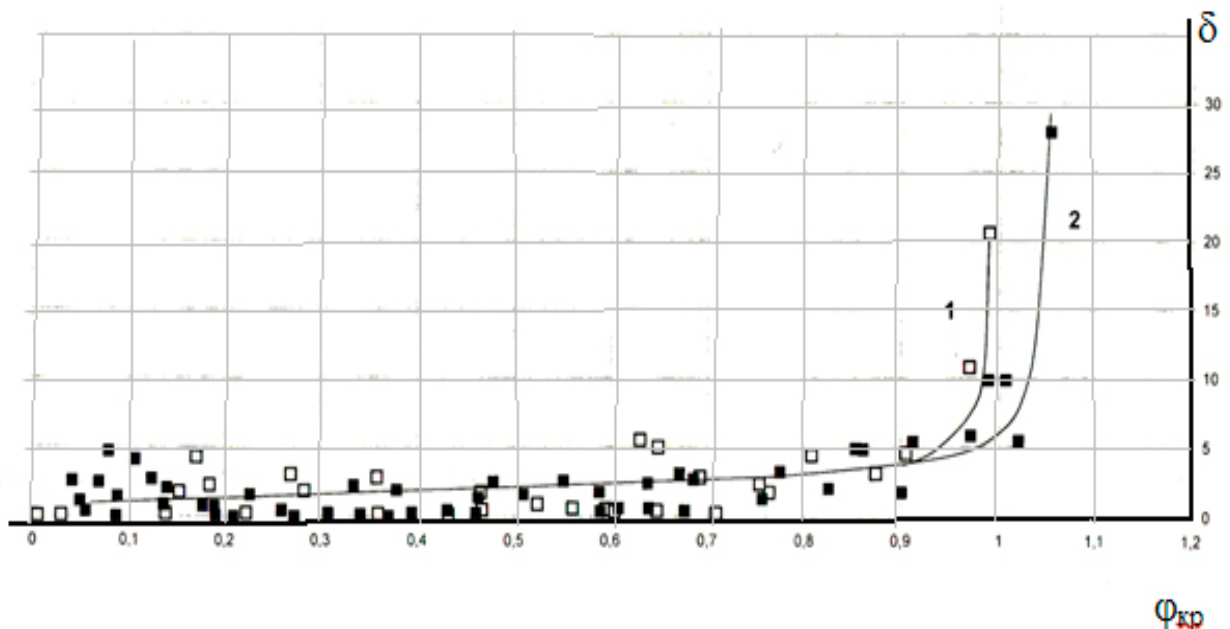
## 5.2.2. Результаты эксперимента

Количество опытов по замеру тяговой характеристики было принято от 30 до 50 на каждой передаче.

Усилие сопротивления перекачиванию производилось буксировкой испытуемого трактора с отключенными бортовыми редукторами при движении передним ходом.

Усилие сопротивления движению создавалось с помощью динамометрической лаборатории ДЛ-30 (созданной на базе трактора с электромеханической трансмиссией ДЭТ-250) и дополнительного соединенного последовательно с ней бульдозера.

По результатам тяговых испытаний [51, 140, 161, 230] были построены кривые буксования в зависимости от удельного тягового усилия, что позволяет проводить сравнение между собой машин разного класса тяги. Полученные экспериментальные кривые буксования приведены на рис. 5.7.



*Рис. 5.7. Экспериментальная зависимость буксования  $\delta$  от удельного тягового усилия  $\varphi_{кр}$ :*

*1 – трактор Т10, 2 – ДЭТ-350*



По данным рис. 5.7 видно, что смещение центра давлений приводит к смещению кривой буксования. Удельное тяговое усилие трактора Т10 меньше, чем у ДЭТ-350. Таким, образом, экспериментально подтверждено смещение кривой буксования, вызванное смещением центра давлений.

### **5.3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МАШИН**

Производительность машины одна из основных составляющих ее эффективности.

#### **5.3.1. Цель, объекты и методика испытаний**

Целью данных исследований является экспериментальная оценка:

- технической производительности БРА с ПРЗ (объема разработанного бульдозером грунта за 1 час чистого времени работы без учета нетехнологических простоев);
- влияния установки защиты от радиации на производительность;
- изменения параметров и характеристик базового шасси и рабочего оборудования, в зависимости от параметров установленной ПРЗ, для получения максимальной производительности техники.

Объекты испытаний – БА и БРА на базе тракторов типа Т10, Т15 с МТ и ГМТ, в том числе Т-170, ДЗ-171.КЗ, Т10, Т10М, Т10МБ (и их модификаций), БРА на базе тракторов ДЭТ – 250, ДЗ-132-1КЗ, ДЭТ – 350.

Оценка технических параметров и производительности КГМ проводилась по известным методикам испытаний для народнохозяйственной и специальной техники [30, 51...57, 60, 121, 122, 125, 140, 199, 209, 230 и др].

Испытания по определению показателей производительности БА и БРА проводились по методикам, предусмотренным ГОСТ 23734-98 [51] и РД 23-82-2-86 [209], где оценивались показатели часовой производительности при различных работах (траншейной, блочной, срезании слоя

грунта, планировке, рыхлении и других), а также производительность тракторов при обслуживании рассредоточенных объектов. Одинаковые работы (опыты) проводились несколько раз, после чего определялось среднее значение измеряемых показателей.

Определение нагрузок на отдельные элементы КГМ с имитацией изменения массы ПРЗ специальными грузами проводились при помощи тензодатчиков.

Оценка технической производительности БА и БРА при разработке 40-метровых траншей челночным способом с отсыпкой грунта в кавальер и профилированием поверхности со срезанием слоя грунта толщиной 10...15см производилась по известным методикам [51, 54, 201, 209].

На каждом агрегате разрабатывалось не менее трех траншей. При этом определялись следующие параметры:

- количество циклов;
- продолжительность отдельных элементов каждого цикла (рабочий ход, остановка после рабочего хода, обратный ход, остановка после обратного хода);
- длина рабочего и обратного ходов в каждом цикле.

После окончания разработки траншеи определялись размеры траншеи по ширине и глубине через каждые два метра.

Плотность (категория) грунта определялась с помощью плотномера ДорНИИ на поверхности, а также в середине и на дне траншеи после ее отрывки.

Сравниваемые агрегаты испытывались при равных условиях (одинаковая плотность грунта, комплектность агрегатов – отличия только по сравниваемому параметру, операторы одной квалификации и др.).

Помимо типовых оценок часовой технической производительности по обычным методикам можно оценивать и среднесменную производительность техники, выполняющей конкретную работу (не по известным методикам) непосредственно на РЗМ.

На рис. 5.8 показано проведение замеров уровней излучения снаружи и внутри работающего БРА, а также оценки производительности его работы на заданной РЗМ.



*Рис. 5.8. Экспериментальная оценка:*

- уровней излучения на РЗМ и внутри кабины для определения времени рабочей смены;*
- производительности БРА (на базе ДЭТ-250) при выполнении конкретных работ на заданной местности*

Исследования производились на полигонах и стендах ЧТЗ, ГосНИИ ПТ, УралНИИС НАТИ, 15 ЦНИИ МО РФ и др., а также в реальных условиях РЗМ.

На полигоне 15 ЦНИИ МО РФ производительность бульдозеров проверялась при рытье котлованов и срезании слоя грунта толщиной 10..15см с перемещением его на 30м - наиболее вероятных работах на первом этапе дезактивации радиоактивно зараженных территорий [201].

На полигонах ЧТЗ, УралНИИС НАТИ и др. оценка технических параметров и сравнение различных БА и БРА проводились при отрыве траншей, планировочных и других работах на грунтах разных категорий от I до IV по классификации Зеленина А.Н. и при разработке скального грунта.

Траншейная технология (отрывка 40-метровых траншей) использовалась с отсыпкой грунта в 20...25 метровые кавальеры по единой схеме выполнения работ. Исследования рабочих процессов БА и БРА проводились отдельно на каждом из грунтов различных категорий плотности (I...IV).

После окончания разработки траншеи путем обмеров определялись:

- размеры траншеи (через 2 м), м;
- размер кавальера в продольном сечении, м;
- плотность грунта на дне траншеи (через 2...4 м), ударов;
- общий расход топлива, кг.

По хронометрическим данным и результатам замеров подсчитывались:

- центры тяжести траншеи и кавальера,
- дальность перемещения;
- объем траншеи, м<sup>3</sup>.

Записи проводились в течении рабочего хода в циклах, относящихся к различной глубине траншеи и условно разделенных на “верхние”, “средние” и “нижние”. Общее количество разрабатываемых циклов в каждой траншее ограничивалось исходя из опыта испытаний на часовую производительность и составляло 40...46 циклов.

Также оценивались технические параметры и производительность БА и БРА при выполнении наиболее распространенных на РЗМ планировочных и других работ, в том числе связанных с транспортными переездами агрегата своим ходом между объектами.

При сравнении результатов использовались данные экспериментальной проверки производительности бульдозеров, полученные на серийных агрегатах-аналогах [121, 125, 140, 161, 199, 230].

На бульдозерах с ПРЗ оператора стояли серийные отвалы.

Для снижения влияния человеческого фактора на производительность бульдозерных агрегатов работы в различных сериях испытаний велись двумя операторами высокой квалификации попеременно.

### **5.3.2. Эксперименты и основные результаты на технике с механической и гидромеханической трансмиссиями**

Допустимое по грузоподъемности (без значительного смещения центра масс, центра давления) увеличение массы бульдозера (до 25...30%) за счет установки тяжелой кабины с ПРЗ оператора без изменения других технических параметров, как правило, практически не влияет на техническую производительность агрегата.

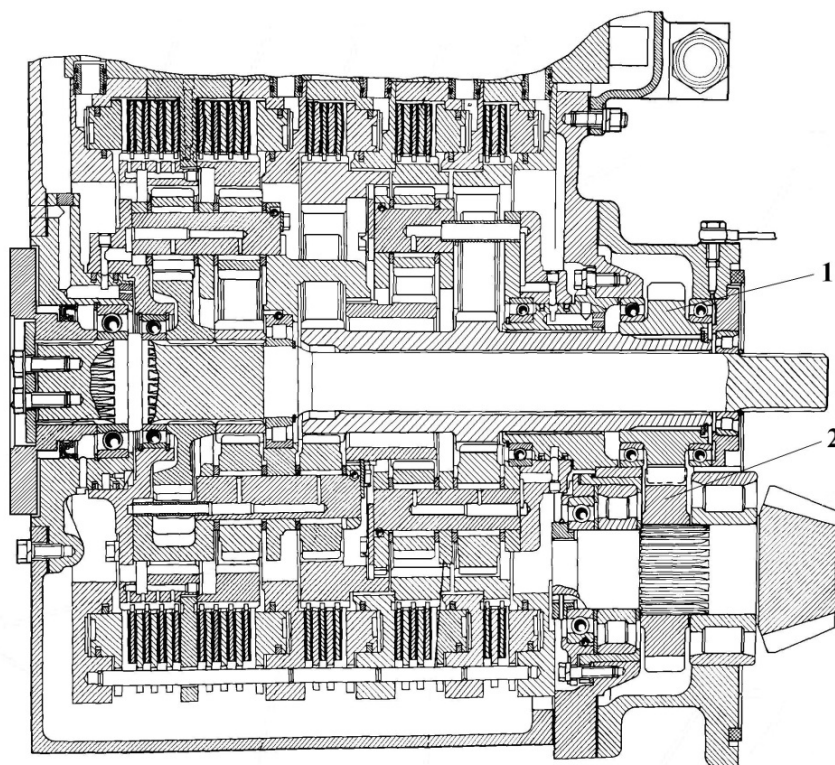
Это подтверждают сравнения серийных бульдозеров-аналогов и бульдозеров с ПРЗ ДЗ-171.КЗ (на базе трактора Т-170), соответственно показывающих практически одинаковую производительность на различных грунтах и режимах работы.

Рассмотрим влияние роста массы агрегата (за счет установки ПРЗ) с соответствующим увеличением передаточного числа трансмиссии (при достаточной мощности двигателя) и сохранении других технических параметров на тягово-сцепные качества и производительность техники.

Изменение передаточного числа у агрегатов на базе тракторов типа Т10М с планетарной коробкой передач наиболее просто осуществить путем замены цилиндрической пары шестерен на выходе из КПП (рис. 5.9б), при этом возможное изменение передаточного числа составит от 0,88 до 1,43.



**а**



**б**

**Рис. 5.9.** Испытания на производительность бульдозера Б10М с измененным передаточным числом трансмиссии:

- а* – на грунте II категории;
- б* – планетарная КПП базового трактора, цифрами показана заменяемая пара шестерен

Экспериментальная оценка влияния изменения передаточного числа трансмиссии на технические параметры БРА проводилась у агрегатов Б15Г (массой 24080 кг близкой к массе ДЗ-171.1КЗ) и Б10 «точка» (см. рис.5.7) [161]. Увеличение передаточного числа трансмиссии осуществлялось заменой в КПП пары шестерен с изменением количества зубьев и передаточного отношения, которое у Б15Г менялось с 1,095 на 1,25 (на 14%). При этом масса Б15Г, по сравнению с аналогом Б10, также выросла на 14% (с 21100 кг до 24080 кг).

Испытания показали, что на грунтах II категории у БРА Б15Г увеличение передаточного числа трансмиссии на 14% привело к повышению производительности на 14,5% (при увеличении средней призмы волочения (объема грунта, перемещаемого отвалом) на 24,6% и снижении скорости агрегата на 11,6%). Подобная зависимость получена и при соответствующем изменении передаточного числа трансмиссии у БРА Б10 [161].

Увеличение передаточного числа трансмиссии улучшило удельные показатели тракторов Т15Г и Б10 «точка», соответственно по производительности:

- на 1 л.с. мощности двигателя на 11,8...17,8%;
- на 1 т массы агрегата на 5,7...6,1% [161].

Рост производительности БРА Б15Г и Б10 «точка» подтверждается и результатами тяговых испытаний. Тяговая мощность агрегатов Б15Г и Б10 «точка» с увеличенными передаточными числами трансмиссии в диапазоне высоких тяговых усилий возросла до 20...30 л.с. [161].

Испытания агрегатов на базе тракторов класса тяги 10 и 15 с МТ и ГМТ показали, что рост массы агрегата с соответствующим увеличением передаточного числа трансмиссии (при достаточной мощности двигателя) и сохранении других технических параметров приводит к росту производительности работ [161].

### 5.3.3. Экспериментальные исследования на бульдозерах с электромеханической трансмиссией

Допустимое по грузоподъемности (без значительного смещения центра масс, центра давления) увеличение массы бульдозера (до 25...30%) за счет установки тяжелой кабины с ПРЗ оператора без изменения других технических параметров, как правило, практически не влияет на техническую производительность агрегата. Это подтверждают сравнения серийных бульдозеров - аналогов и бульдозеров с ПРЗ ДЗ-131.1КЗ (на базе трактора ДЭТ-250М2), соответственно показывающих практически одинаковую производительность на различных грунтах и режимах работы. Повышение на 3...5% производительности бульдозера ДЗ-132-1КЗ по сравнению с базовой машиной на некоторых режимах работы, очевидно, связано с увеличением сцепного веса и благоприятным расположением центра давления машины [199].

Рассмотрим влияние роста массы агрегата (за счет установки ПРЗ) с соответствующим увеличением передаточного числа трансмиссии (при достаточной мощности двигателя) и сохранении других технических параметров на тягово - сцепные качества и производительность техники.

Для сравнения были взяты два бульдозерных агрегата с электромеханической трансмиссией: ДЭТ-250М2 и ДЭТ-350 (рис. 5.10).

Масса ДЭТ-350 составляет 44265 кг, что на 13,5% выше массы ДЭТ-250М2 (его масса 39000 кг). При прочих равных условиях (ДЭТ-250М2 база для ДЭТ-350, единая ходовая система и т.д.) у ДЭТ-250М2 передаточное число механической части трансмиссии равно 33,24, у ДЭТ-350 поднято передаточное число бортового редуктора и передаточное число трансмиссии равно 36,64. Таким образом, БРА ДЭТ-350 является аналогом ДЭТ-250М2 с ПРЗ и измененным передаточным числом трансмиссии – увеличение массы на 5265кг (масса ПРЗ) и пропорциональное увеличение передаточного числа с 33,24 до 36,64.





*Рис. 5.10. Испытания бульдозера ДЭТ-350 при разработке траншеи*

Оценка тяговых показателей бульдозеров с электромеханической трансмиссией производилась по силе тока якоря тягового двигателя, который с небольшими допущениями может идентифицироваться с тяговым усилием по показателям машины [140].

При разработке грунтов III–IV категории оба бульдозера набрали практически одинаковые призмы волочения (используют единый отвал), соответственно 5,44–5,37 м<sup>3</sup>, но реализуют при этом различную токовую нагрузку силовых агрегатов.

Среднее (по рабочему циклу с отсыпкой грунта на кавальер) экспериментальное значение силы тока у трактора ДЭТ-350 составляет 657 Ампер, что на 9,8% меньше соответствующего показателя трактора ДЭТ-250М2, имеющего среднее значение силы тока 720,5 А (рис. 6.6). Поэтому, набирая и перемещая призму с меньшими значениями токовой нагрузки, трактор реализует заложенную в конструкции мощность на повышение скорости рабочего хода.



Рис. 5.11. Изменение силы тока бульдозеров ДЭТ-250М2 и ДЭТ-350 при разработке глинистого грунта III-IV категории по профилю траншеи и кавальера [140, 230]

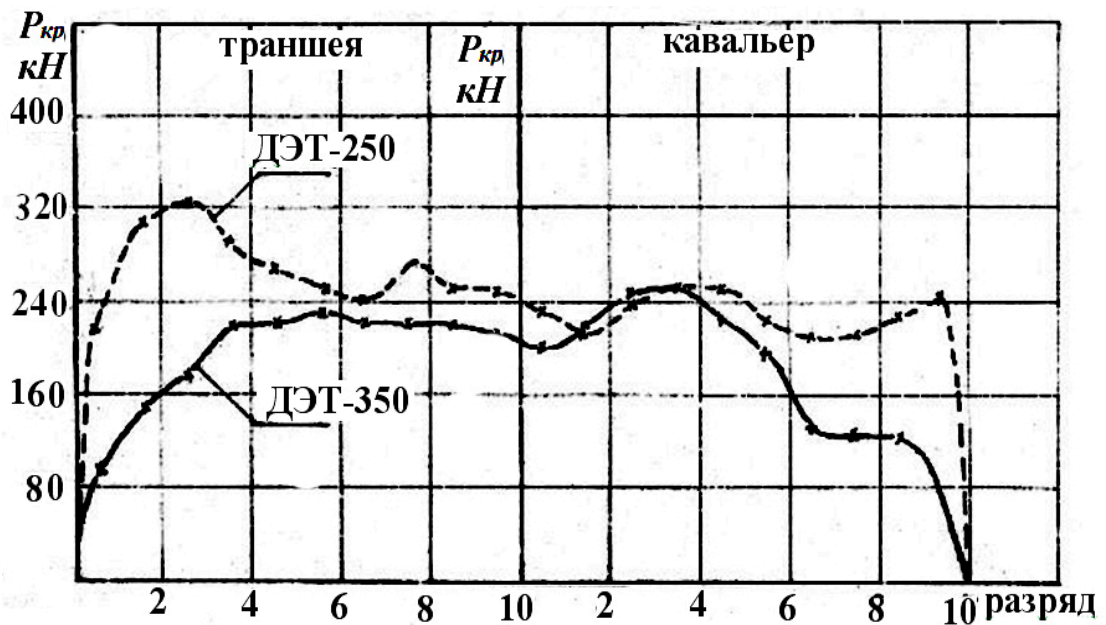


Рис. 5.12. Изменение тягового усилия  $P_{кр}$  бульдозеров ДЭТ-250М2 и ДЭТ-350 при разработке глинистого грунта III-IV категории по профилю траншеи и кавальера [140, 230]

При испытаниях на техническую производительность с отсыпкой грунта в кавальер скорость рабочего хода бульдозера ДЭТ-350 получена равной 0,798 м/с против 0,712 м/с у бульдозера ДЭТ-250, то есть на 12,1% выше.

Как видно из рис. 5.11 . 5.12, процесс набора и перемещения грунта на кавальер бульдозерами ДЭТ-350 и ДЭТ-250М2 можно разделить на ряд последовательных элементов рабочего цикла (разрядов).

Начинается процесс бульдозирования разгоном инерционных масс агрегатов и внедрением отвала бульдозера в грунт (2...3 разряд). В указанном диапазоне сила тока тягового двигателя (и тяговое усилие) бульдозера плавно нарастает. Однако, у бульдозера ДЭТ-250 нарастание более интенсивное и существенно выше по абсолютному значению, чем у ДЭТ-350. Это объясняется лучшим восприятием (за счет измененного передаточного отношения трансмиссии) моторно-трансмиссионной установкой внешней нагрузки. Процесс врезания отвала бульдозера в грунт и набор призмы волочения у трактора ДЭТ-350 происходит на большем перемещении агрегата по траншее. Соответственно и процесс интенсивного нарастания силы тока и тягового усилия трактора растягивается по времени. У трактора ДЭТ-250 процесс врезания отвала бульдозера в грунт и набор призмы волочения сопровождается резким падением скорости движения и, соответственно, увеличением тягового усилия машины до максимальных значений, ограничиваемых полным буксованием.

При дальнейшем перемещении тракторов по траншее (с 3 по 10 разряд) производится подрезание и накопление грунта в призме волочения. Характер протекания зависимостей токовой нагрузки у тракторов ДЭТ-350 и ДЭТ-250М2 существенно различается:

– у трактора ДЭТ-350 сила тока тягового двигателя стабилизировалась до конца траншеи, что свидетельствует о срезании и

интенсивном наполнении отвала бульдозера грунтом на всем протяжении траншеи;

– у трактора ДЭТ-250М2 сила тока тягового двигателя начинает снижаться, что свидетельствует об устойчивом транспортировании накопленной в начале рабочего хода призмы волочения грунта.

С точки зрения динамической нагруженности трансмиссии и энергоемкости технологического процесса набор призмы грунта у трактора ДЭТ-350 более предпочтителен. Среднее значение силы тока тягового двигателя при работе трактора ДЭТ-350 в траншее составляет 654,4 А, что на 16,5% меньше соответствующей нагрузки трактора ДЭТ-250 при незначительной разнице в объемах призмы волочения.

Необходимо отметить, что при дальности перемещения грунта в траншее 20м, процесс набора грунта трактором ДЭТ-250 более интенсивный и заканчивается раньше. За каждый метр перемещения в траншее трактор ДЭТ-250 набирает в призму в среднем  $0,189\text{м}^3$  грунта, а трактор ДЭТ-350 только  $0,177\text{м}^3$ . Это свидетельствует о том, что у трактора ДЭТ-350 есть резерв повышения эффективности его работы на более длинных траншеях. Экспериментально подтверждено, что при перемещении грунта в откос производительность бульдозера ДЭТ-350 на 7,1 % выше производительности бульдозера ДЭТ-250, а при перемещении грунта на кавальер превышение составляет уже 9,8% [140].

Переход тракторов из траншеи на кавальер (от 10 разряда траншеи до 2 разряда кавальера) сопровождается небольшим снижением загрузки машины. Сила тока тягового двигателя бульдозера ДЭТ-350 при этом получена в среднем 665,8 А, что на 2% меньше силы тока двигателя трактора ДЭТ-250М2. Составление показателей токовой нагрузки тракторов ДЭТ в основном соответствует соотношению призм волочения, с которыми бульдозеры выходят на кавальер: призма волочения бульдозера ДЭТ-350 составляет в среднем  $5,34\text{м}^3$ , а у бульдозера ДЭТ-250М2 –  $5,40\text{м}^3$ .

Анализ положения машины на профиле земляного сооружения (траншея–кавальер) показал, что снижение загрузки машины связано с рядом следующих обстоятельств:

- при переходе бульдозерного оборудования из траншеи на кавальер прекращается, в основном, действие на трактор усилий от среза грунта;
- выход бульдозерного оборудования из траншеи на кавальер сопровождается подъемом отвала. В результате чего угол наклона толкающих брусьев бульдозерного оборудования и продольной горизонтальной плоскости трактора уменьшается. Снижается и тяговое усилие, необходимое для перемещения призмы волочения.

Дальнейшее движение по кавальеру (со 2 по 5 разряд) происходит небольшое возрастание силы тока и тягового усилия в силу ряда следующих причин:

- разрабатываемые грунты по своим физико-механическим свойствам относятся к тяжелым вязким глинам, из-за чего трактор за один рабочий ход не набирает полную призму волочения. Поэтому водитель, в целях экономии времени, оставляет призму сразу за траншеей и следующим рабочим циклом перемещает две призмы одновременно;

- при выходе трактора из траншеи на кавальер угол наклона толкающих брусьев бульдозерного оборудования к продольной плоскости тракторов увеличивается, и необходимое тяговое усилие для перемещения грунта в призме волочения повышается;

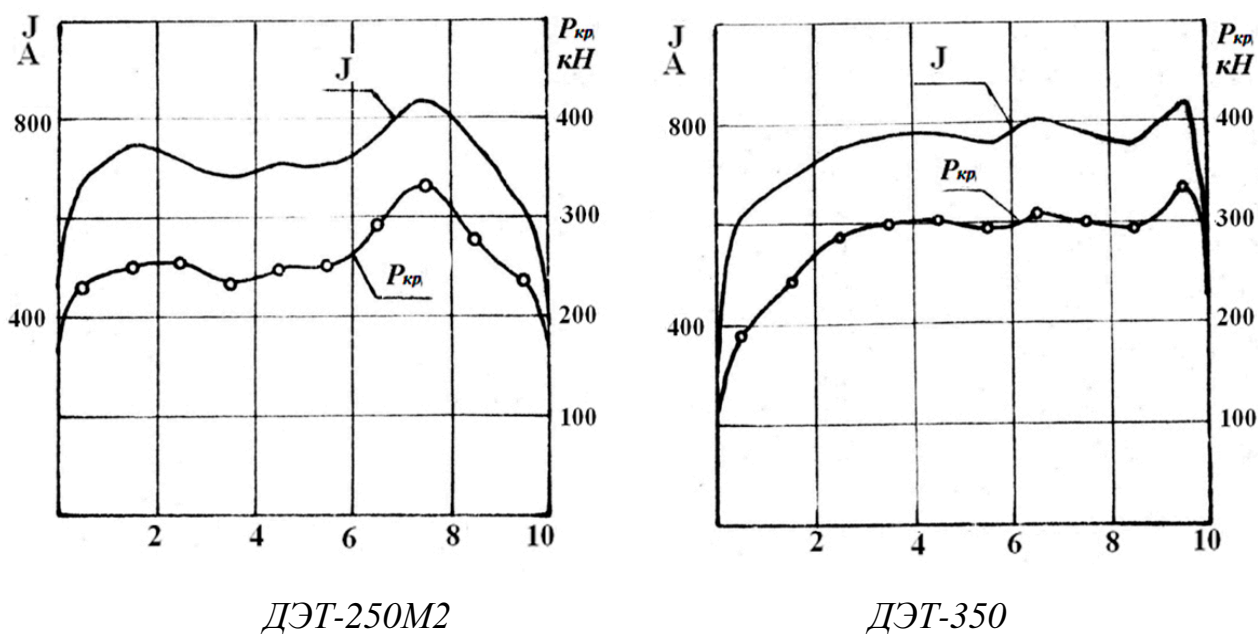
- перемещение грунта по кавальеру сопровождается движением машины по наклонной плоскости на подъем, в результате чего возрастает сопротивление передвижению бульдозера и сила тока тягового двигателя трактора.

Дальнейшее перемещение бульдозера по кавальеру сопровождается отсыпкой грунта по профилю пути движения с полным опорожнением отвала в конце рабочего хода и сила тока уменьшается. Среднее значение силы тока на кавальере у трактора ДЭТ-350 составляет 626,2 А, что на

13,4% меньше соответствующего показателя токовой нагрузки трактора ДЭТ-250М2.

Из рассмотренных условий эксперимента видно, что бульдозер ДЭТ-350 недогружен по силе тока (тяге). Следовательно, при его использовании на грунтах II...IV категории есть возможность использовать увеличенную емкость отвала, пропорционально увеличению массы машины.

При разработке скального грунта бульдозеры ДЭТ-250 и ДЭТ-350 используют практически весь диапазон силы тока тяговых двигателей. При этом среднее значение силы тока у ДЭТ-350 составило 754,4 А, что на 4,7% выше, чем у ДЭТ-250М2 (рис. 5.13).



**Рис. 5.13.** Экспериментальные значения силы тока и тягового усилия  $P_{кр}$  при разработке скального грунта [140, 230]

Большие значения токовой нагрузки в условиях скального грунта сопровождаются и более высокими напорными усилиями на режущей кромке отвала, увеличивая его общую производительность.

**Сравнительные испытания технической производительности агрегатов на базе трактора ДЭТ-350, имеющего большую массу и**

*передаточное отношение трансмиссии по сравнению с ДЭТ-250, показали прирост производительности [140, 230]:*

– на грунтах II категории с включением отдельных участков III...IV категории техническая производительность БРА ДЭТ-350 составила 283,5 м<sup>3</sup>/ч, что превысило производительность ДЭТ-250М2, равную 238 м<sup>3</sup>/ч, на 19,1%;

– при разработке скального грунта техническая производительность ДЭТ-350 равна 109,3 м<sup>3</sup>/ч, что выше на 23,9%, чем у ДЭТ-250, у которого производительность равна 88,2 м<sup>3</sup>/ч.

Средний прирост производительности БРА на базе ДЭТ-350 по сравнению с ДЭТ-250М2 на легких грунтах составил 14%.

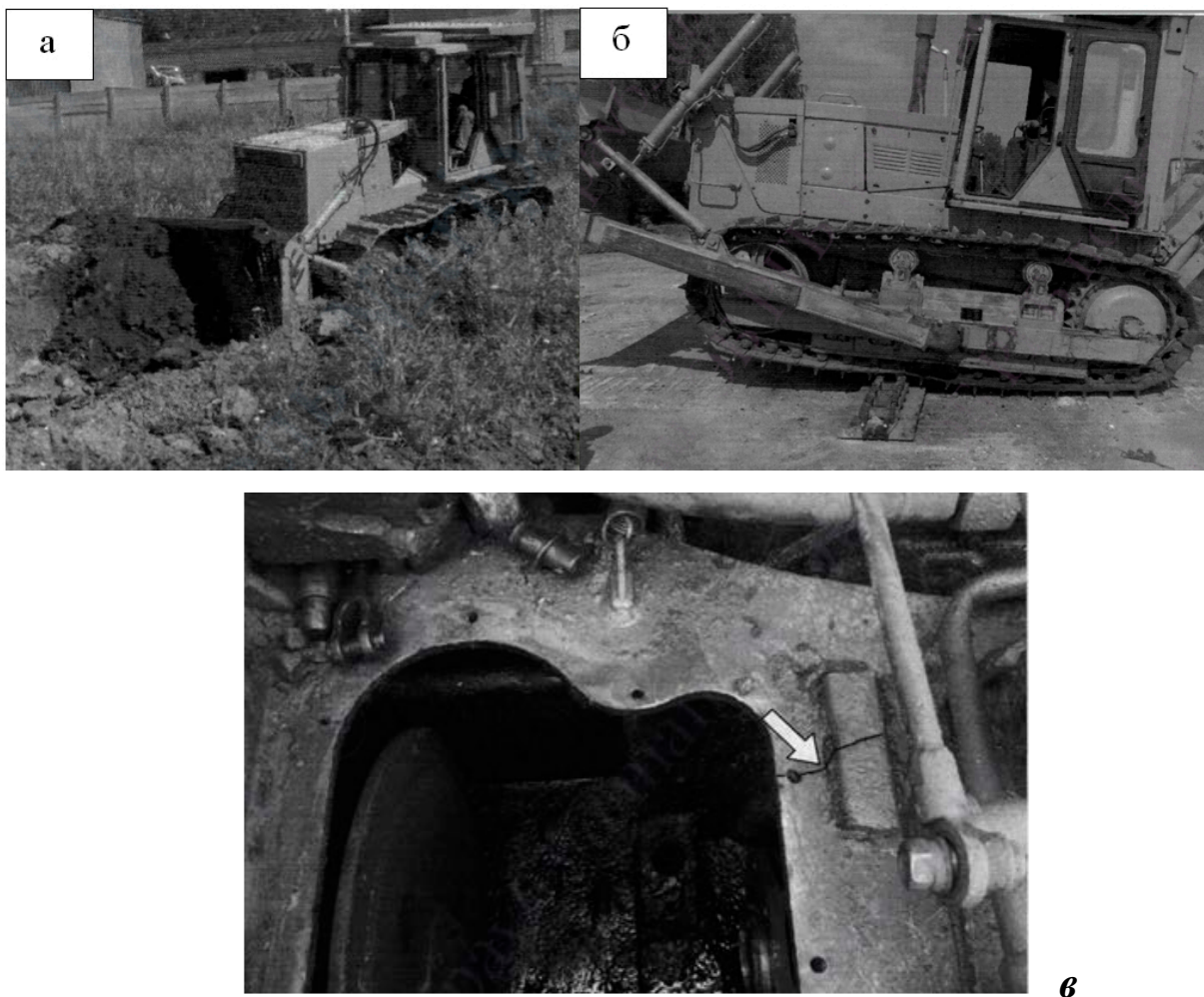
Все эксперименты проводились с серийными отвалами, хотя очевидно, что увеличение емкости отвала на ДЭТ-350 позволит реализовать набор большей призмы грунта.

*Расхождение экспериментальной и расчетной (разделы 4.3, 6.2) оценок производительности рассмотренных БРА не превышает 13%.*

#### **5.4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШАССИ**

Экспериментальные исследования проводились на базе испытательного центра ЧТЗ (пос. Мисяш, Челябинская обл.) и в местах эксплуатации бульдозеров. В качестве основного объекта испытаний использовался БРА Б10 (на базе трактора Т10М) массой 21 тонна. Повышение массы БРА Б10 (имитация массы ПРЗ) производилось путем установки дополнительных плит на защиту кабины.

Экспериментальные испытания предусматривали воспроизведение основных режимов работы бульдозера [27]: разработку грунта отвалом: срезание грунта и транспортировка призмы волочения в кавальер, откат по траншее (рис. 5.14а); транспортный режим в дорожных условиях каменистых карьеров при движении по типовым препятствиям (рис. 5.14б).



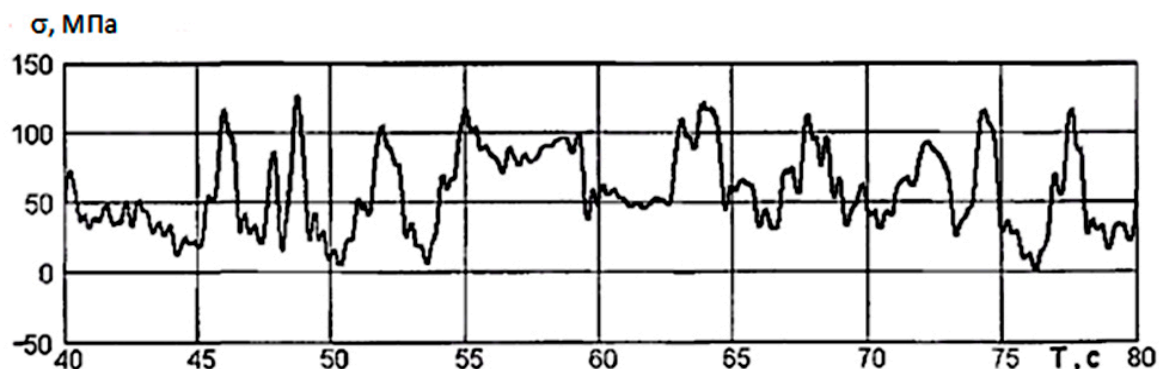
*Рис. 5.14. Экспериментальные режимы: а – бульдозирования; б – переезда через одиночное препятствие. Возникновение трещин на верхнем листе корпуса заднего моста БА на базе трактора Т12 в эксплуатации (в)*

**Целью эксперимента** было оценить нагруженность различных узлов несущей системы, для чего на различных элементах рамы трактора были размещены тензодатчики, позволяющие регистрировать силовые и кинематические процессы в подвеске и раме трактора.

Анализ результатов стендовых испытаний выявил повышенный уровень напряженности в балансирной балке при всех видах нагружения (рис. 5.15).

Максимальные напряжения в балке составляют  $\sigma_{\max}=125$  МПа, что на 9% отличается от расчетных значений (см. рис. 4.13).



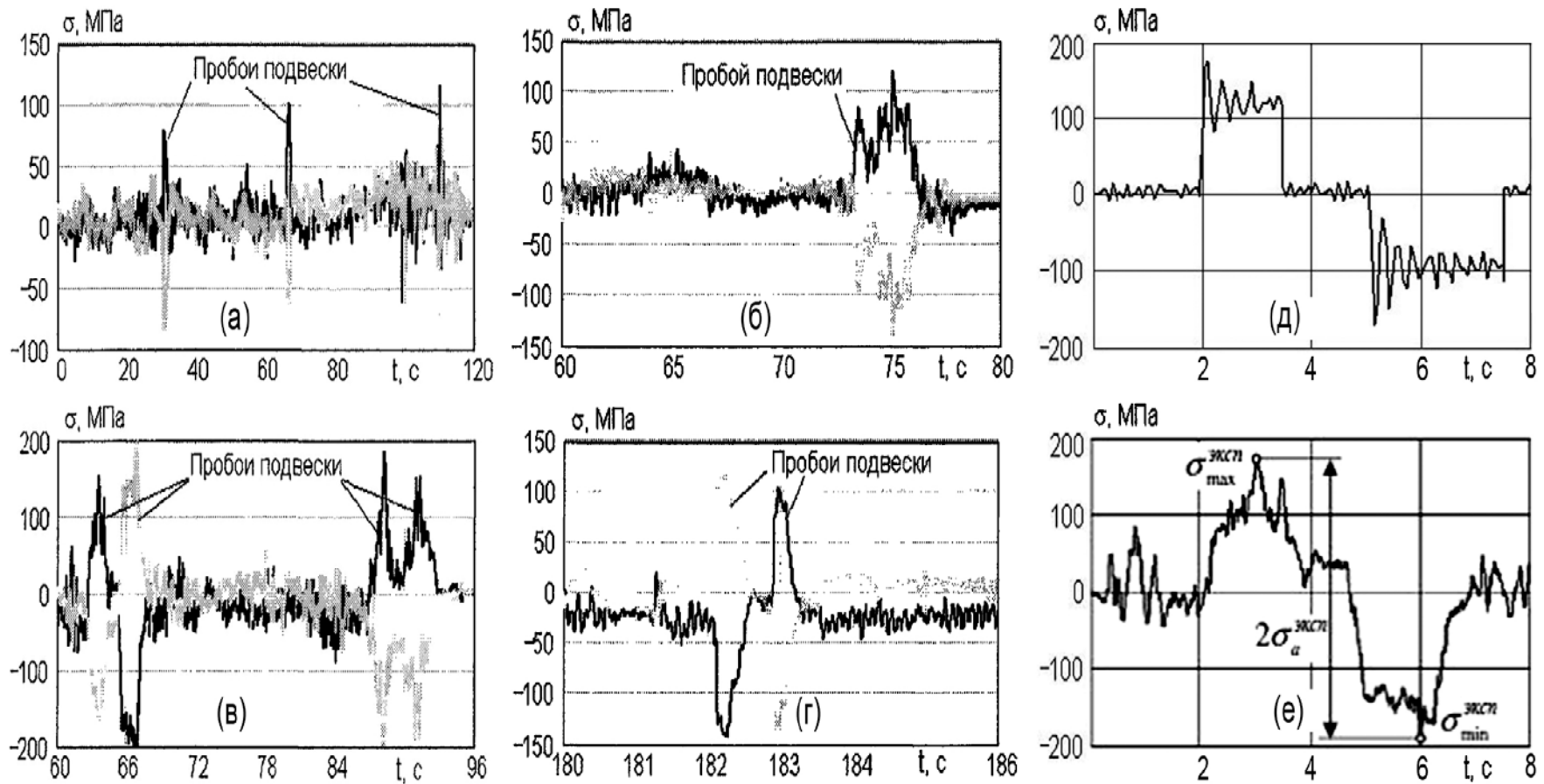


*Рис. 5.15 Максимальные напряжения в балансирующей балке при разработке грунта бульдозером*

Установка дополнительных плит на кабину (увеличение массы машины на 25% за счет ПРЗ) в 1,5 раза повысила уровень напряжений в опасных точках, что вероятно потребует дополнительных мер по увеличению прочности несущей системы машины, работающей на РЗМ.

В процессе полевых испытаний были зафиксированы факты возникновения пробоя подвески, замерены уровни напряженности и частота их появления в условиях реальной эксплуатации бульдозерного агрегата (рис. 5.16). Это явление особенно характерно при работе в транспортном режиме (при преодолении одиночных препятствий одной из гусениц) и ряде тяжелых работ, когда наблюдались пики напряжений в верхнем листе корпуса бортовых фрикционов, возникающие в момент пробоя подвески. Это объясняется возникновением крутящего момента со стороны лонжеронов при пробое подвески. Возникающие напряжения при пробое подвески в 3...4 раза превышают средний уровень общей напряженности. Общее число пробоев в пересчете на 3 тыс. моточасов работы бульдозерного агрегата в условиях каменного карьера составляет порядка 750 тыс. полных симметричных циклов напряжений.

Сравнение экспериментальных и расчетных значений напряжений показали хорошую сходимость результатов (рис.4.11, 4.12, 5.15, 5.16 д,е), разница значений не превышала 9%.



**Рис. 5.16.** Напряжения в опасной зоне верхнего листа корпуса трактора Т10 при бульдозировании суглинка II категории (а), разборного каменного грунта (в), рыхлении (б), движении на 3 передаче (г), расчетные (д) и экспериментальные (е) напряжения в зоне верхнего листа корпуса рамы при пробое подвески

## 5.5. ВЫВОДЫ ПО ПЯТОЙ ГЛАВЕ

1. Показаны экспериментальные методы определения ПРЗ параметров КГМ, с помощью которых получены значения кратностей ослабления излучения (от различных источников ГИ) на рабочем месте оператора узлами (в том числе специальных защитных кабин) бульдозеров на базе тракторов Т-170.61, типа Т10, ДЭТ-250М2 и ряда колесных грузовых машин Урал-4320, ЗИЛ-131, ГАЗ-66.

Результаты хорошо согласуются с данными теоретических исследований. Расхождение между расчетной оценкой ПРЗ по предлагаемым формулам и расчетно-экспериментальной оценкой не превышало 13%, при погрешности измерений до 10%. Расхождение с расчетом по ГОСТ В 26457 для БРА на базе тракторов Т10, Т10М, Т10МБ, Т12, ДЭТ-250, ДЭТ-320, автомобилей Урал-4320, ЗИЛ-131, ГАЗ-66, фронтального колесного погрузчика ПК-46 не превышает 10%.

2. Определены и оценены ослабленные по защите от излучений зоны конкретных машин (в первую очередь в районе соединения стенок кабины). Показано влияние этих зон на уровень защищенности оператора.

Экспериментально подтверждена теоретическая оценка зависимости ослабленных зон машины от места расположения кабины на шасси.

3. Подтверждена возможность увеличения производительности БА и БРА (для тракторов с разными типами трансмиссий) за счет реализации в тягу массы ПРЗ. Повышение производительности БРА за счет увеличения массы соответствующей установке ПРЗ и соответствующего изменения передаточного числа трансмиссии:

– БРА с МТ и ГМТ на базе тракторов типа Т10 (Т15) увеличение массы и передаточного числа трансмиссии на 14% привело к росту производительности на 14,5 % при работе на грунтах II категории, за счет увеличения призмы волочения на 24,6% при этом снижение рабочей скорости на 11,6%;

– БРА с ЭМТ на базе тракторов ДЭТ: производительность выросла: на 19,1% при разработке грунтов II категории с включением отдельных участков III...IV категории; на 23,9% при разработке скального грунта.

При одновременном соответствующем увеличении массы агрегата (за счет массы ПРЗ), передаточных чисел трансмиссии и емкости отвала увеличение производительности при установке защиты от ГИ у рассмотренных БРА может составлять до 34%.

Расхождение экспериментальной и расчетной оценок производительности рассмотренных БРА не превышает 13%.

4. Корректность предлагаемой математической модели для прогнозирования динамических процессов, возникающих в условиях, близких к реальной эксплуатации машины (система 4.10) подтверждена испытаниями по определению напряженности отдельных узлов БРА (с имитацией различных масс ПРЗ специальными грузами), в том числе при контакте (пробое) подвески с рамой при реальной эксплуатации. Сравнение экспериментальных и расчетных значений напряжений показали хорошую сходимость результатов, разница значений не превышала 9%.

Установка дополнительных плит на кабину трактора Т10 (увеличение массы машины на 25 % за счет ПРЗ) в 1,5 раза повысила уровень напряжений в опасных точках, что вероятно потребует дополнительных мер по увеличению прочности и надежности несущей системы КГМ при установке ПРЗ.

5. Показана возможность проведения дефектоскопии оптически толстых (для гамма-квантов) защитных экранов кабины с использованием плоского облучателя. При толщине свинцового экрана до 60 мм уверенно определяются дефекты размерами свыше 3...5 мм. Метод позволяет проводить оперативную качественную и количественную оценку степени защиты кабины и ее отдельных элементов.

## **ГЛАВА 6. ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ И КОНСТРУКЦИИ ЗАЩИТНЫХ КАБИН И МАШИН В ЦЕЛОМ**

Глава посвящена вопросам проектирования и расчета технических и защитных (ПРЗ оператора) параметров конкретных машин. Приводятся предложения, позволяющие повысить технический уровень и эффективность работы машины на РЗМ.

На базе проведенных исследований рассматриваются особенности расчета ряда практических задач на примере конкретных машин с ПРЗ в зависимости от основных задач проектирования (максимальная эффективность работы, максимальный уровень защиты, другие задачи). Получены расчетные значения рациональных параметров машин с ПРЗ (конкретные КГМ с защитой от ГИ, в том числе в сравнении с базовой машиной) на различных заданных РЗМ. Предлагаются рекомендации и новые мероприятия, доведенные до конкретных конструкторско-технологических решений по совершенствованию конструкции ПРЗ и машины в целом.

Полученные в диссертации новые научные результаты, позволяют при минимуме исходных данных:

1. Формулировать и решать задачи рационального выбора ПРЗ и взаимосвязанных с ней параметров и характеристик КГМ, в заданных условиях эксплуатации.
2. Формулировать и решать задачи получения максимальной эффективности машины с ПРЗ по критерию «эффект – затраты».
3. Оценивать перспективность научных направлений в области разработки и создания специальных машин с ПРЗ.

## **6.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОГО УРОВНЯ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЗАЩИТЫ КОНКРЕТНОЙ ТЕХНИКИ**

Высокий уровень защиты оператора от излучений, зачастую определяет работоспособность техники, используемой на радиоактивно зараженной местности. Возможность получения предельного технически допустимого уровня противорадиационной защиты оператора у конкретной машины во многом закладывается на этапе проектирования. Методика, приведенная во второй главе, позволяет определить этот уровень при минимуме исходных данных [83, 87].

В качестве примера рассмотрим расчет максимально возможного уровня защиты оператора от гамма-излучения грунта РЗМ ряда машин и агрегатов на базе серийных гусеничных промышленных тракторов и грузовых автомобилей.

На рассматриваемой технике установлена одноместная защитная кабина с одинаковой толщиной стенок кабины для каждой КГМ и внутренним объемом  $1,12 \text{ м}^3$ , полученным исходя из размещения оператора по минимальным размерам ГОСТ Р ИСО 3411-99, ГОСТ 12.2.120, РЭО СВ-80 [56, 57, 219] (см. рис. 3.15, табл. 3.10).

### Основные исходные данные для расчета:

- базовое шасси (колесное или гусеничное, назначение, грузоподъемность, габаритные размеры, координаты центра тяжести шасси и положения точек *A* (уровень головы) и *B* (уровень живота) оператора);
- параметры защитной кабины (внутренний объем, основной противорадиационный материал – свинец);
- параметры РЗМ (мощность, энергия, размеры и расположение источников излучения).

### Этапы расчета по методике

1. Определяется величина возможной дозагрузки шасси (увеличения массы кабины) исходя из расчета:

- транспортного и тягового режимов работы бульдозера с учетом соответствующих нагрузок на отвал (раздел 3.5.1);
- нагрузок на передние и задние колеса (оси) грузовой машины без груза и с грузом (раздел 3.5.1).

Обычно, как правило, около 90 % этой массы может быть отведено на ПРЗ оператора, 10 % на усиление рамы (и ряда других узлов машины) и конструкции кабины.

2. По максимально возможной массе ПРЗ рассчитывается толщина стенок-панелей теоретической кабины по формуле (3.22), для кабины с разной толщиной стенок по формуле (3.25).

3. Рассчитывается и выбирается максимально возможный уровень защиты оператора от ГИ РЗМ:

- узлами кабины ( $K_K$ ), исходя из толщины стенок - панелей, для двух операторов с учетом пересчета, при необходимости, по методике, изложенной в разделе 3.5.2;

- узлами шасси ( $K_W$ ), исходя из его габаритно-массовых параметров, для гусеничных тракторов (третья глава) по формуле (3.7);

- узлами рабочего оборудования ( $K_{PO}$ ), при его наличии, по формуле (3.11).

4. Зная (из этапа 3) численные значения кратности ослабления ГИ на рабочем месте оператора (отдельно для точки *A* и точки *B* стенками кабины  $K_{Ki}$ , узлами шасси  $K_{Wi}$  и рабочим оборудованием,  $K_{POi}$  (при его наличии) определяем максимально возможные значения кратности ослабления ГИ всей машины  $K_M$  по формуле:

$$K_{Mi} = K_{Wi} K_{Ki} K_{POi},$$

где  $i$  – индекс расчетной точки (A или B).

5. Уровень биологической защиты образца (машины) определяется следующим образом:

$$K_M = K_{MB} \text{ при } K_{MB} / K_{MA} \leq 2$$

$$K_M = 2K_{MA} \text{ при } K_{MB} / K_{MA} > 2.$$

В таблице 6.1 приведены теоретические максимально возможные уровни ПРЗ оператора, рассчитанные по предлагаемой методике для некоторых конкретных машин. Исходные габаритно-массовые и др. параметры взяты из литературы [5...7, 222, 223, 228, 245, 246], расчеты по грузоподъемности шасси тракторов (раздел 3.5.1, литература [66, 206...208, 218]). Уровень биологической защиты оператора от ГИ РЗМ для этих машин определяется излучением в точке Б (из раздела 5.1.4).

#### **6.1.1. Мероприятия по базовому шасси, повышающие уровень защиты оператора**

1. Выбор базового шасси с наибольшей возможной грузоподъемностью, для получения большей массы ПРМ и соответственно увеличенной толщины (уровня защиты) защитных стенок-панелей кабины.

2. Использование базового шасси, имеющего максимально возможные габаритные размеры и минимальную высоту расположения оператора над шасси относительно уровня грунта, с целью перекрытия узлами шасси максимально возможной площади излучения РЗМ, направленного на оператора. Так, например, для трактора Т10М использование (расчеты по формуле 3.7):

– уширенного базового шасси (увеличены колея и ширина гусеницы) типа Т10М2.6050 [71] увеличивает уровень ПРЗ оператора на 6,5 %;

– большего по габаритам шасси с расположением оператора ближе к геометрическому центру шасси типа Т10МБ повышает уровень защиты оператора от ГИ на 17 % [76].



3. Расположение кабины гусеничного промышленного трактора посередине защитного экрана шасси для обеспечения максимальной грузоподъемности шасси и наиболее полного перекрытия самых опасных, с точки зрения расположения, источников ГИ, находящихся в непосредственной близости от машины.

Для ДЭТ-320 размещение оператора ближе к продольной оси машины приведет к увеличению уровня биологической защиты от ГИ (расчеты по формуле 3.7) до 9% [75, 76].

4. Снижение нагрузок на шасси в транспортном и рабочем режимах (ограничение скорости движения, уменьшение объема и массы грунта, перемещаемого отвалом бульдозера или перевозимого груза машиной и др.) для увеличения массы ПРЗ кабины.

#### **6.1.2. Мероприятия по защитной кабине, повышающие уровень защиты оператора**

1. Минимально возможный необходимый внутренний объем кабины с целью получения (при заданной массе) максимально возможной толщины стенок кабины.

2. Дифференцированная защита с разной толщиной стенок кабины в зависимости от условий работы, обеспечивающая, при сохранении массы кабины, повышение уровня защиты (толщины стенок) с одних направлений за счет других (подробнее показано в разделе 3.5.2).

У реальной техники обычно используется:

– уменьшение толщины крыши из-за малой вероятности нахождения мощного источника в верхней полусфере;

– уменьшение толщины панелей кабины, дополнительной защитой которых служат узлы шасси (например, пол кабины и нижняя часть передней стенки тракторов типа Т10, дополнительно защищенные узлами МТУ);

– для грузового автомобиля – увеличение толщины задней стенки для защиты от ГИ перевозимого в кузове радиоактивного груза (грунта).

3. Уменьшение влияния ослабленных зон на защищенность оператора (установка локальной защиты и др.).

Для головы оператора эти зоны зачастую характеризуются прохождением радиоактивных лучей через окна кабины, для низа живота оператора они в основном определяются местом установки кабины на шасси.

Предложения по повышению защиты этих зон и соответственно машины в целом приведены в разделах 6.3 и 6.5.

4. *Использование для оператора КГМ специальных защитных комплектов*, например КЗО-2 значительно (как правило, от 1,5 до 2 раз в зависимости от энергии излучения) снижает дозу ГИ, полученную оператором в биологических точках за этой защитой.

Данные по максимально возможному расчетному уровню ПРЗ операторов для бульдозеров на базе различных гусеничных промышленных тракторов и грузовых машин в одноместной кабине с минимальным внутренним объемом  $V_{вн}=1,12м^3$ , со свинцовой защитой с одинаковой толщиной стенок, приведены в таблице 6.1 (расчеты по формулам третьей главы, основные формулы – 3.7, 3.22).

Уменьшение толщины (и пропорционально уровня защиты) крыши кабины на 30% позволит соответственно увеличить толщину других защитных стенок соответственно на 6% (расчеты по формуле 3.25). Возможный рост уровня ПРЗ оператора при таком перераспределении толщин защиты машин из табл. 6.1 составит: при  $E_\gamma = 0,8 МэВ$  от 1,5 до 2 раз; при  $E_\gamma = 1,25МэВ$  от 1,2 до 1,74 раза [83].

В табл. 6.2 приведены расчетные значения (по формулам глав 3 и 4) относительных (по сравнению с базовой КГМ) значений производительности и эффективности ряда машин с максимальной ПРЗ, а также максимальные значения дозы зон РЗМ ( $P_{0Б}$ ) на которых один оператор может работать на соответствующих машинах по 6 часов в день.

**Таблица 6.1.**

*Максимально возможный расчетный уровень ПРЗ оператора машин со специальной защитной кабиной  
(одноместная кабина с одинаковой толщиной свинцовых стенок,  $V_{вн}=1,12м^3$ )*

Базовые шасси	Параметры кабины		Предельный расчетный уровень ПРЗ оператора, $K$ , крат				
	Максимальная масса ПРЗ, $M_{ПРЗ}$ , кг	Толщина стенки, $b$ , мм	Узлами шасси	$E_{\gamma} = 0,8 МэВ$		$E_{\gamma} = 1,25 МэВ$	
				Стенками кабины	Машина в целом	Стенками кабины	Машина в целом
<b>Гусеничный трактор под бульдозер, класс 10</b>							
<b>Т-170.61</b> (5 <sup>ти</sup> - <u>катковая</u> тележка, коля 1880мм, ширина гусеницы 500мм)	5000	61	2,75	175	498	24	66
<b>Т10М.0000</b> (6 <sup>ти</sup> - <u>катковая</u> тележка, коля 1880мм, ширина гусеницы 500мм)	7200	84	2,75	1429	3930	98	270
<b>Т10М.0050</b> (6 <sup>ти</sup> - <u>катковая</u> тележка, коля 2080мм, ширина гусеницы 690мм)	8100	93	2,93	3364	9857	171	501
<b>Т10МБ.6020</b> (7 <sup>ти</sup> - <u>катковая</u> тележка, коля 2280мм, ширина гусеницы 900мм)	10000	114	3,22	23000	74600	550	1710

**Таблица 6.1 (продолжение)**

Максимально возможный расчетный уровень ПРЗ оператора машин со специальной защитной кабиной  
(одноместная кабина с одинаковой толщиной свинцовых стенок,  $V_{вн}=1,12м^3$ )

Базовые шасси	Параметры кабины		Предельный расчетный уровень ПРЗ оператора, $K$ , крат				
	Максимальная масса ПРЗ, $M_{ПРЗ}$ , кг	Толщина стенки, $b$ , мм	Узлами шасси	$E_{\gamma} = 0,8МэВ$		$E_{\gamma} = 1,25МэВ$	
				Стенками кабины	Машина в целом	Стенками кабины	Машина в целом
<b>Гусеничный трактор под бульдозер, класс 25</b>							
ДЭТ-250 (6 <sup>ти</sup> - <u>катковая тележка</u> , колея 2450мм, ширина гусеницы 690мм)	10800	119	3,59	38000	136420	800	2872
ДЭТ-320 (6 <sup>ти</sup> - <u>катковая тележка</u> , колея 2450мм, ширина гусеницы 690мм)	15000	154	3,91	$10^6$	$3,91 \cdot 10^6$	7085	27702
<b>Колесная грузовая машина (максимальная скорость до 50 км/ч)</b>							
<b>Урал- 4320</b>	2790	35	$1,9^{*3}$	15,63	29,7	5,5	10,45
<b>Урал- 6370</b>	3100	39	$2,06^{*4}$	21,1	43,5	6,9	14,2
<b>Камаз-43118</b>	2320	30	$2,03^{*4}$	9,5	19,3	4,4	8,9

**Таблица 6.2**

*Влияние максимального уровня ПРЗ оператора (кабина с одинаковой толщиной стенок из свинца,  $V_{вн}=1,12м^3$ ) на относительную производительность  $\Delta\Pi$  и эффективность машины  $\mathcal{E}_{i-Б}$  (в сравнении с базовой) на разных РЗМ ( $E\gamma=0,8МэВ$ , уровень ПРЗ обеспечивает 6 часов работы оператора с ПДД=20 мЗв/год, вход-выход машины из зоны работ – 0,3 часа)*

Базовые шасси	Параметры кабины		МАХ расчетная ПРЗ оператора от ГИ РЗМ, К, крат			Доза ГИ РЗМ, $P_{об}$ , мЗв/ч	$n_o$ , чел, с ПРЗ / без ПРЗ	$\Delta\Pi = \frac{\Pi_{ПРЗ}}{\Pi_{баз}}$	Затраты $3_{\Sigma 0} + 3_3 / 3_{\Sigma 0}$ , у.е. (1 у.е.=78 руб на 1.04.20)	$\mathcal{E}_{i-Б}$
	$M_{ПРЗ МАХ}$ , кг	$b_K$	$K_W$	$K_K$	$K_M$					
<b>Гусеничный трактор под бульдозер, класс 10*<sup>1</sup></b>										
<b>T10M.0010</b> (5-ти катковая тележка, колея 1880мм, ширина гусеницы 500мм)	5000	61	2,75	175	481	5,66	1 / * <sup>2</sup>	-* <sup>2</sup>	42760 / -* <sup>2</sup>	-* <sup>2</sup>
<b>T10M.0050</b> (6-ти катковая тележка, колея 2080мм, ширина гусеницы 690мм)	8100	93	2,93	3364	9857	116	1 / * <sup>2</sup>	-* <sup>2</sup>	56834 / -* <sup>2</sup>	-* <sup>2</sup>
<b>Грузовые автомобили (оператор размещен на продольной оси машины)</b>										
<b>Урал - 4320</b>	2790	35	1,90	15,63	29,7	0,35	1 / 16	4,75	32727 / 320940	46,58
<b>КамАЗ - 6522</b>	2320	30	2,03	9,50	19,3	0,23	1 / 10	1,90	30593/ 200578	12,46

\*<sup>1</sup> – единая база, за счет большей колеи, ширины гусеницы, грузоподъемности, более рационального расположения оператора у T10M.0050 по сравнению с T10M.0010 значительно выше максимальный уровень защиты.

\*<sup>2</sup> – не имеет смысла, оператор серийной машины получит ПДД во время входа-выхода машины из зоны работ и у него не останется времени на саму работу

## 6.2. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧИСЕЛ ТРАНСМИССИИ ПРИ УСТАНОВКЕ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Рассмотрим влияние ПРЗ на выбор передаточных чисел трансмиссии для получения максимальной производительности машины на примере конкретных бульдозеров с разным типом трансмиссии с учетом материалов, изложенных в разделе 4.3 [74].

Поднять удельное тяговое усилие можно изменив передаточное число трансмиссии на величину  $i_{opt} = i_w (1 + G_{ПРЗ} / G_w)$ , по формуле (4.9), где  $i_w$  – передаточное число базового шасси;  $i_{opt}$  – оптимальное передаточное число машины с ПРЗ, соответствующее оптимальному удельному тяговому усилию. При значительном смещении центра давления необходим также учет изменения буксования и тягового КПД.

**6.2.1. Рассмотрим бульдозер на базе трактора Т10 (Т-170) с механической ступенчатой трансмиссией выполненный в трех вариантах** при работе на грунтах II и III категории (наиболее часто встречающихся на РЗМ):

- базовый (без ПРЗ) масса бульдозера  $M_B = 17500$  кг;
- с установкой рациональной ПРЗ для условий, приведенных в разделе 6.8 ( $M_{ПРЗ} = 2300$  кг), масса бульдозера  $M_B = 19600$  кг;
- с установкой максимально допустимой ПРЗ ( $M_{ПРЗ} = 5500$  кг), масса бульдозера  $M_B = 22800$  кг.

Для оценки влияния изменения передаточного числа на работу бульдозера с МТ с ПРЗ был проведен тяговый расчет, результаты которого представлены в таблице 6.3. Полученные результаты сравним с известными оптимальными удельными тяговыми усилиями агрегата (раздел 2.4.3.1), обеспечивающими его максимальную производительность на грунтах различной плотности [134, 196].

Таблица 6.3

Результаты тягового расчета БА и БРА на базе гусеничных промышленных тракторов Т10 (класс 10, МСТ) [87],  $\varphi_{\text{Конт}} = 0,7$  – на грунте II и III категории [134, 196]

Т10, кл. 10, МСТ, передача	М <sub>Б</sub> =17500 кг			М <sub>Б</sub> =19600 кг (с ПРЗ)			М <sub>Б</sub> =22800 кг (с ПРЗ)		
	N <sub>кр</sub> , л.с.	P <sub>кр</sub> , кг	$\varphi_k$	N <sub>кр</sub> , л.с.	P <sub>кр</sub> , кг	$\varphi_k$	N <sub>кр</sub> , л.с.	P <sub>кр</sub> , кг	$\varphi_k$
1	130,08	15550	0,89	134,28	16419	<b>0,84</b>	<b>135,39</b>	<b>16163</b>	<b>0,71</b>
2	135,08	13709	0,78	<b>135,36</b>	<b>13541</b>	<b>0,69</b>	134,73	13963	0,61
3	<b>135,29</b>	<b>12164</b>	<b>0,70</b>	134,72	11996	<b>0,61</b>	133,02	11740	0,51

Таблица 6.4

Результаты тягового расчета БА и БРА на базе гусеничных промышленных тракторов ДЭТ (класс 25, ЭМТ) [87],  $\varphi_{\text{Конт}} = 0,41 \dots 0,81$  [134, 196]

ДЭТ, кл. 25, ЭМТ	М <sub>Б</sub> =39000 кг, i <sub>БР</sub> =11,08; i <sub>ТР</sub> =33,24			М <sub>Б</sub> =45200 кг (с ПРЗ), i <sub>БР</sub> =11,08; i <sub>ТР</sub> =33,24			М <sub>Б</sub> =45200 кг (с ПРЗ), i <sub>БР</sub> =12,214; i <sub>ТР</sub> =36,64		
Тяговый диапазон	<b>158,6</b>	<b>11186</b>	<b>0,29</b>	<b>152,3</b>	<b>10690</b>	<b>0,24</b>	<b>156,6</b>	<b>12154</b>	<b>0,27</b>
	184,2	24912	0,64	182,87	24414	0,54	184,3	27285	0,60
	<b>155,8</b>	<b>32387</b>	<b>0,83</b>	<b>161,44</b>	<b>31891</b>	<b>0,71</b>	<b>160,98</b>	<b>35970</b>	<b>0,81</b>

Для агрегатов с механической ступенчатой трансмиссией (МСТ + дизель),  $\varphi_{Конт} = 0,7$  для грунта II и III категории.

Из таблицы 6.3 видно, что бульдозер с массой  $M_B = 17500$  кг имеет оптимальное удельное тяговое усилие  $\varphi_{k \max} = 0,7$  на третьей передаче. При установке рациональной ПРЗ (раздел 6.8, табл. 6.6) близкой к оптимальной становится вторая передача  $\varphi_{k \max} = 0,69$ . При установке максимальной ПРЗ (раздел 6.7.1, табл. 6.6 из раздела 6.8) близкой к оптимальной – первая передача  $\varphi_{k \max} = 0,71$ .

Таким образом, за счет резерва имеющихся рабочих передач для БРА на базе тракторов Т10 (Т-170) с рассмотренными вариантами массы ПРЗ нет необходимости вносить какие-либо изменения в трансмиссию. Как показывает расчетно-экспериментальная оценка (по формуле 4.11), работа бульдозера на базе трактора Т10 с МТ с ПРЗ на передачах, соответствующих оптимальным передаточным числам, позволит поднять производительность на грунтах II категории:

- на 9% при массе ПРЗ  $M_{ПРЗ} = 2300$  кг;
- на 22% при массе ПРЗ  $M_{ПРЗ} = 5500$  кг.

**Бульдозер** на базе трактора типа ДЭТ с электромеханической трансмиссией выполнен в трех вариантах:

- ДЭТ-250М2 базовый (без ПРЗ) с массой бульдозера  $M_B = 39000$  кг;
- ДЭТ-250М2 с установкой ПРЗ (6200 кг) с массой бульдозера  $M_B = 45200$  кг и серийным передаточным отношением механической части трансмиссии  $i_{Тр} = 33,24$ ;
- ДЭТ-250М2 с установкой ПРЗ (6200 кг) с массой бульдозера  $M_B = 45200$  кг и передаточным отношением механической части трансмиссии  $i_{Тр} = 36,64$  (полученным по формуле (4.9) с учетом массы ПРЗ) – аналог ДЭТ-350 (раздел 5.3.3).



Полученные результаты сравним с известными оптимальными удельными тяговыми усилиями агрегата, обеспечивающими его максимальную производительность на грунтах различной плотности, которые для агрегатов с ЭМТ составляют  $\varphi_{Kontm} = 0,41...0,81$  [134, 196].

Результаты тягового расчета приведены в таблице 6.4.

Как видно из таблицы 6.4, базовый агрегат ( $M_B = 39000$  кг) с передаточным числом трансмиссии  $i_w = 33,24$  обеспечивает оптимальный тяговый диапазон  $\varphi_{Kontm} = 0,29...0,83$  с уровнем тяговой мощности  $N_{кр} = 155,8...158,6$  л.с.

У машины с ПРЗ оператора ( $M_B = 45200$  кг) без изменения передаточного числа механической части трансмиссии нет возможности обеспечить необходимый диапазон оптимальных тяговых усилий, особенно для наиболее важной верхней границы (табл. 6.4, колонка 2). При этом достигнутое максимальное удельное тяговое усилие на 12% ниже:  $\varphi_k = 0,71$  вместо требуемого  $\varphi_k = 0,81$ .

Для обеспечения диапазона оптимальных тяговых усилий  $\varphi_{Kontm} = 0,41...0,81$  установка ПРЗ требует изменения передаточного числа трансмиссии. Увеличение передаточного числа с 33,24 до 36,64 позволило обеспечить весь оптимальный диапазон тяговых усилий (табл. 6.4, колонка 3) при одновременном повышении уровня тяговой мощности  $N_{кр} = 156,6...184,3$  л.с.

Изменение механического передаточного числа трансмиссии до требуемого в данном случае сравнительно легко осуществляется заменой серийного бортового редуктора трактора ДЭТ-250М2 с передаточным числом  $i_w = 11,08$  на бортовой редуктор трактора ДЭТ-350 (аналог ДЭТ-250М2 с большей массой) с передаточным числом  $i_w = 12,214$ .

Повышение производительности на тракторах с ЭМТ при установке ПРЗ и пропорциональном росту массы машины (за счет массы защиты) увеличении передаточного отношения трансмиссии подтверждено расчетами и экспериментом (разделы 4.3, 5.3.2) [140, 161, 199, 230]:

– расчетно-экспериментальный прирост производительности (по формуле 4.11) бульдозера на базе ДЭТ-350 (третий рассмотренный вариант в табл. 6.4) по сравнению с ДЭТ-250М2 на грунтах II категории составил 17%.

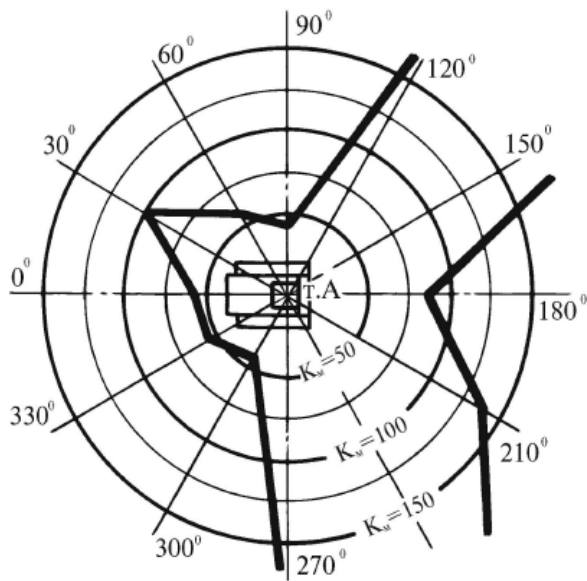
– экспериментальный рост производительности БРА на базе ДЭТ-350 по сравнению с ДЭТ-250М2 на грунтах II категории с включением отдельных участков III и IV категорий на 19,1% [140, 230] (раздел 5.3.3).

Следует отметить, что увеличение оптимальных тяговых усилий машины с ПРЗ должно сопровождаться необходимыми прочностными расчетами узлов трансмиссии, несущей и ходовой систем.

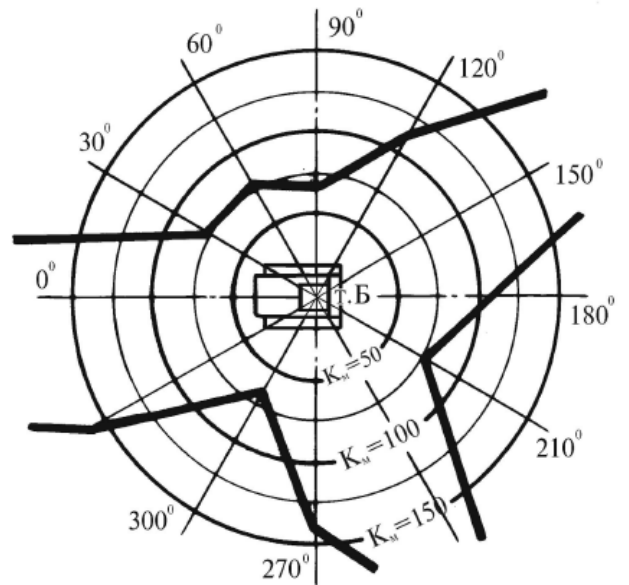
### **6.3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ МАШИНЫ (В ТОМ ЧИСЛЕ ОСЛАБЛЕННЫХ ЗОН) МЕТОДОМ КРУГОВЫХ ДИАГРАММ**

Предлагается для оценки эффективности ПРЗ узлами машины использовать метод круговых диаграмм. Диаграмма представляет собой ломаную линию, ограничивающую достигнутые уровни кратности защиты оператора от излучения. Достоинство круговых диаграмм заключается в их наглядности, облегчающей решение ряда практических задач защиты оператора от радиоактивных излучений и применение техники на РЗМ.

Доработанные результаты испытаний на установке «Арка» [200] в виде круговых диаграмм кратностей ослабления излучения для бульдозеров ДЗ-171.1КЗ (на базе трактора Т-170.61) и ДЗ-132-1КЗ (на базе трактора ДЭТ-250М2) представлены на рис. 6.1 и 6.2 [75]. На диаграммах четко виден разброс полученных значений в различных направлениях, что отражает влияние ослабленных зон с пониженным уровнем защиты.

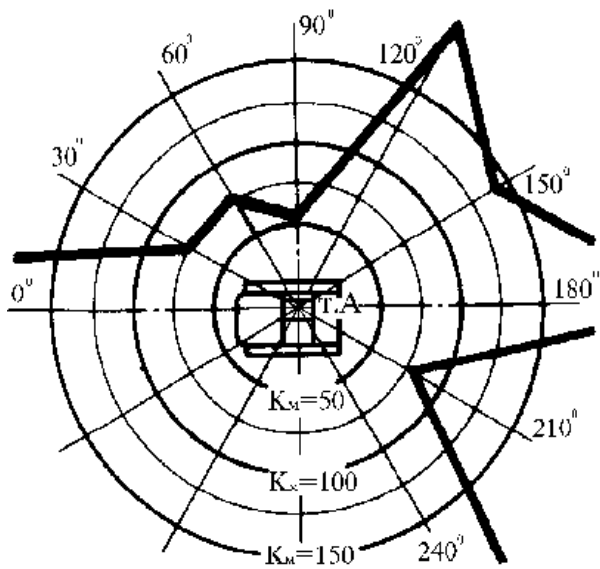


в точке А

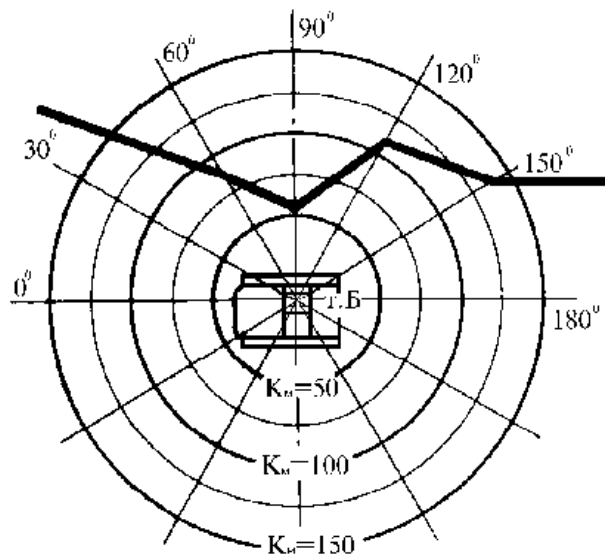


в точке Б)

**Рис. 6.1.** Экспериментальное (на установке «Арка») изменение кратности ослабления излучения в расчетных точках для бульдозера ДЗ-171.1КЗ



в точке А



в точке Б)

**Рис. 6.2.** Экспериментальное (на установке «Арка») изменение кратности ослабления излучения в расчетных точках для бульдозера ДЗ-132-1КЗ

Например, защищенность оператора для различных вариантов защиты разных машин можно сравнить путем наложения диаграмм. Чем больше внутренняя площадь, ограниченная линиями круговой диаграммы, тем выше уровень защиты оператора.

Для точки «А» (голова оператора) эти зоны определяются конструктивными особенностями кабины. Например, для точки «А» такие зоны наблюдаются при курсовых углах  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  (для ДЗ-171.1КЗ) и  $210^\circ$  (для ДЗ-132-1КЗ), что объясняется наличием в этих зонах окон. Следовательно, для повышения уровня ПРЗ необходимо увеличение толщины свинцовистого стекла, установленного в окнах кабины.

*Для точки «Б» (низ живота оператора) у рассматриваемых машин ослабленные по защите зоны в основном определяются компоновкой (местом установки кабины на шасси).* Например, смещение кабины вправо на 670 мм от продольной оси, что соответствует серийному расположению оператора на тракторе ДЭТ-250М2 (курсовые углы  $30\dots150^\circ$ ) приводит к снижению общего уровня защиты оператора на 9%.

#### **6.4. ВЫБОР РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МАССЫ КОНКРЕТНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ЗАЩИТЫ**

Установка ПРЗ существенно влияет на массу машины с рабочим оборудованием.

Рассмотрим влияние массы защиты на рабочее оборудование на примере гусеничных промышленных тракторов и агрегатов на их базе. Трактор, в отличие от ряда других тягово-транспортных самоходных машин способен совершать работу только в составе агрегата совместно с рабочим оборудованием. Поэтому, вопросы выбора рационального рабочего оборудования являются неотъемлемой частью общей компоновки машины.

Наиболее широкое распространение на радиоактивной местности получили бульдозерные агрегаты на базе тракторов класса тяги 10 (на базе Т10), поэтому рассмотрим выбор их бульдозерного оборудования (полусферического отвала) при установке ПРЗ. На рис. 6.3 представлены различные виды отвалов. Габаритно-массовые параметры некоторых отвалов для тракторов типа Т10 приведены в таблице 6.5. Зависимости параметров отвала в зависимости от конструкционной массы трактора получены путем статистической обработки выборки из 65 бульдозерных агрегатов разных мировых производителей [97, 98, 102].

При проектировании любой КГМ соблюдаются устойчивые соотношения между основными параметрами и характеристиками машины. Наличие ПРЗ оператора обычно приводит к повышению на 25...30% массы базовой машины. Это увеличение массы позволяет для производительной работы бульдозеров с ПРЗ, с увеличением тяги БА, увеличить пропорционально массе все характеристики параметров отвалов (подтверждено экспериментально).

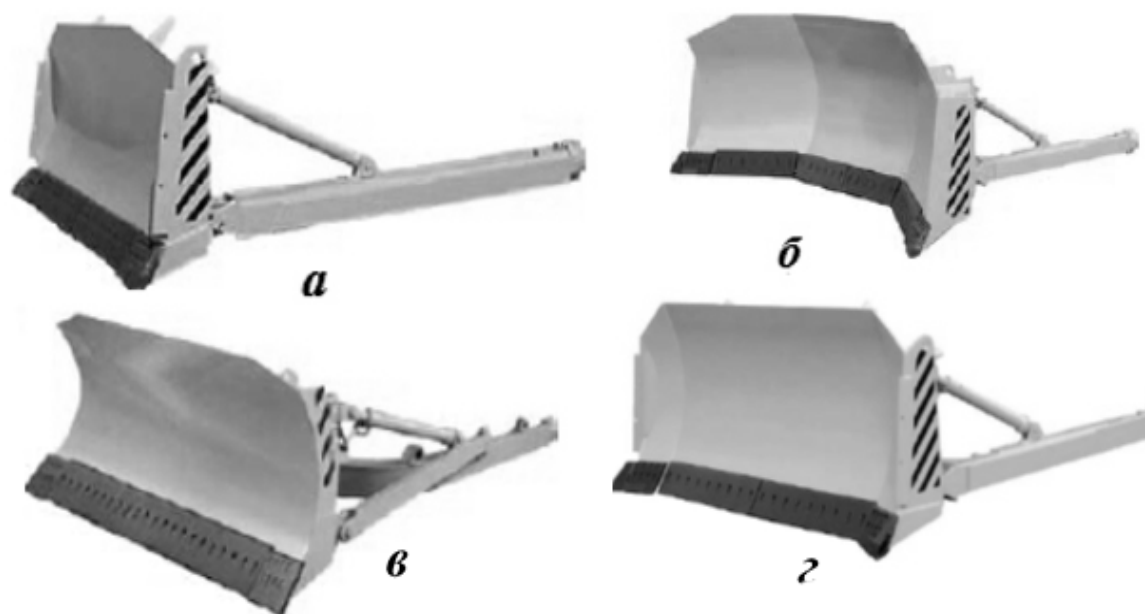
Рассмотрим влияние увеличения массы базового трактора (при установке ПРЗ) на параметры полусферического отвала, приведенное в формулах и графиках на рис. 4.7, 4.8, 4.9 [97, 98] на примере трактора Т10. Для трактора Т10 (конструкционная масса 15 тонн) увеличение массы при установке ПРЗ на 5 тонн увеличивает массу Т10 с ПРЗ до 20 тонн.

1. Масса и емкость отвала (рис. 4.7, 4.8а).

Для трактора типа Т10 с ПРЗ с рациональным полусферическим отвалом: рациональный объем призмы волочения составит порядка  $7 \text{ м}^3$  (вместо  $5,85 \text{ м}^3$  у базового агрегата), рациональная масса БО при этом 3800 кг (2610кг у базы).

2. Ширина и высота отвала (рис. 4.8 б, в).

Для трактора типа Т10 с ПРЗ с рациональным полусферическим отвалом: рациональная ширина порядка 3,63 м (вместо 3,31 м у базы), а высота 1,58 м (вместо 1,5 м).



*Рис. 6.3. Виды отвалов: а – прямой; б – сферический; в – прямой поворотный; г – полусферический.*

**Таблица 6.5.**

*Технические параметры отвалов для тракторов типа Т10, класса тяги 10*

Отвал	ОБ10Е	ОБ10Е1	ОБ10Е2	ОБ10В	ОБ10Д	ОБ10К
Тип отвала	Полусферический			Прямой	Прямой поворотный	Сферический
Ширина, мм	3310	3310	3730	3420	4280	4245
Высота, мм	1310	1500	1575	1140	1140	1510
Объем призмы волочения, м <sup>3</sup>	4,25	5,85	7,5	4,28	4,0	9,7
Перекос, градус	–	10	–	10	–	10
Угол поворота, °	–	–	–	–	25	–
Подъем, мм	1020	1020	1040	1020	935	1300
Заглубление, мм	435	435	550	435	400	570
Масса, кг	2510	2610	3005	2375	2540	3045

### 3. Заглубление и высота подъема (рис. 4.9).

Для трактора типа Т10 с ПРЗ с рациональным полусферическим отвалом: рациональное заглубление 0,54 м (вместо 0,435 м), подъем отвала 1,15 м (вместо 1,02 м).

Увеличение параметров отвала в зависимости от установленной ПРЗ, при измененном передаточном отношении трансмиссии, обеспечивающим необходимое тяговое усилие, может дать хороший прирост производительности работы бульдозерного агрегата.

Как показывают расчеты и зависимости (подтвержденные экспериментом) – прирост производительности на грунтах II категории при увеличении емкости отвала [76] БА на базе трактора с ПРЗ, по сравнению с базовым бульдозером (с учетом соответствующего массе ПРЗ изменения передаточного числа его трансмиссии  $i_{Бонт}$ , раздел 6.2), может составить:

– тяговый класс 10, конструктивная масса трактора Т10 (Т-170) – 15000 кг с добавкой массы при установке ПРЗ  $\Delta G_{ПРЗ} = 2300$  кг – прирост производительности 12% (с учетом  $i_{Бонт}$ , работа на соответствующей передаче близкой к оптимальной, которая дает прирост производительности – 9%);

– тяговый класс 10, Т10 (Т-170) , конструктивная масса трактора Т10 (Т-170) – 15000 кг с добавкой массы при установке ПРЗ  $\Delta G_{ПРЗ} = 5500$  кг – прирост производительности 30% (с учетом  $i_{Бонт}$ , работа на соответствующей передаче близкой к оптимальной, дающей прирост производительности – 22 %).

– тяговый класс 25, конструктивная масса трактора ДЭТ-250М2 – 28000 кг с добавкой массы при установке ПРЗ  $\Delta G_{ПРЗ} = 6200$  кг – прирост производительности 34% (с учетом изменения массы и соответственно механической части передаточного отношения трансмиссии, дающих прирост производительности – 17%).

## **6.5. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДОРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИИ МАШИН С ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТОЙ**

Основное внимание при разработке КГМ, работающих на РЗМ, помимо общетехнических вопросов, возникающих при создании машин, необходимо уделить специальным вопросам, связанным с ПРЗ.

Доработка конструкции машины для работы на РЗМ, как правило, включает в себя следующие мероприятия [88]:

- связанные с установкой тяжелой кабины с ПРЗ оператора (компоновка места установки, повышение при необходимости прочности конструкции шасси...), и условиями работы на РЗМ (защита оператора узлами шасси и рабочего оборудования от радиоактивного излучения...);

- по изготовлению защитной кабины (компоновка, качество и безопасность работ при изготовлении ПРЗ, отсутствие в этой защите ослабленных зон, возможность сравнительно простой дезактивации внутреннего объема кабины и т.д.);

- изменение технических параметров машины из-за установки ПРЗ для повышения эффективности ее работы (производительности...);

- защита от попадания радиоактивной пыли и грязи внутрь кабины и машины в целом;

- уменьшение количества радиоактивной грязи на наружной поверхности машины, быстрой дезактивации техники;

- ускорение подготовки машины к работе, быстрый доступ к узлам и агрегатам, особенно к часто обслуживаемым (фильтрам воздухоочистителя, сердцевине радиаторов и т.д.);

- по эвакуации потерявшей подвижность техники или ее оператора из зоны работ на РЗМ.

Некоторые основные решения по конструкции КГМ с ПРЗ, предлагаемые автором, приведены ниже (и в таблице 6.9), оценка их вклада в эффективность машин на РЗМ показана в таблицах 6.6...6.9.

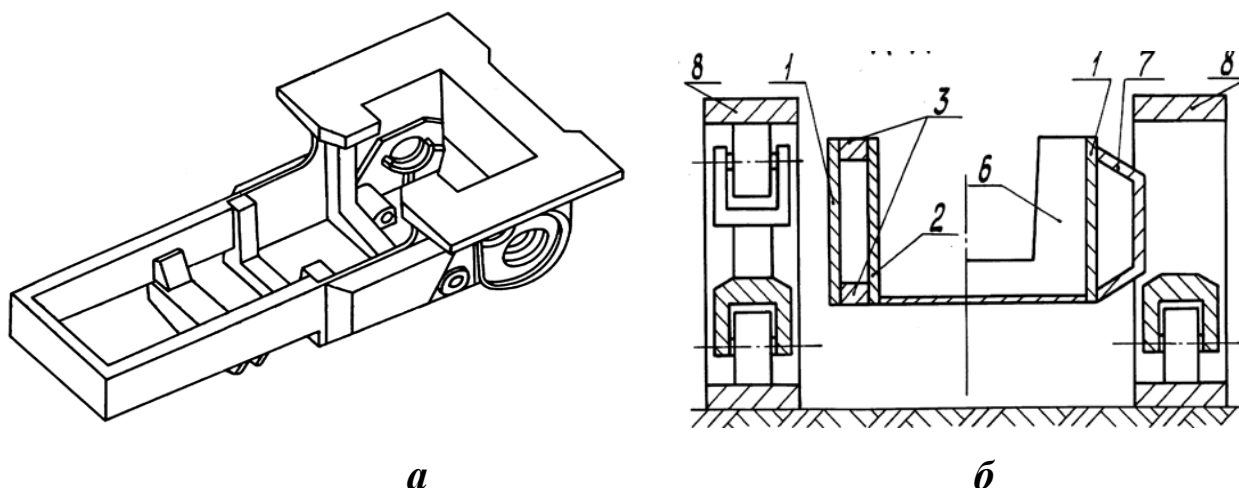


### 6.5.1. По доработке конструкции шасси машин

На основе анализа результатов исследований был предложен ряд конструкторских решений, направленных на повышение эффективности, прочностных и защитных свойств шасси КГМ с ПРЗ для работы на радиоактивно зараженной местности.

1. Основные положения по выбору базового шасси КГМ под установку ПРЗ приведены в разделе 2.4.1.

2. Повышение прочности рамы можно достичь приваркой наружных элементов усиления (коробчатого профиля) с размещением их внутри гусеничного обвода машины (рис. 6.4) [167].



**Рис. 6.4.** Рама гусеничной машины (а) с наружными усилениями, входящими внутрь гусеничного обвода (б), патент РФ № 17909 [167]

1...6 – элементы рамы, 7 – наружные усиления рамы, 8 – гусеницы

Часто это единственный реальный вариант простого увеличения прочности несущей конструкции, т.к. расположение усилителей внутри рамы существующей машины обычно невозможно из-за находящихся там узлов МТУ и других систем. При невозможности внешнего усиления рекомендуется увеличить жесткость лонжеронов, ввести между ними дополнительные связи с одновременным увеличением толщины листов корпуса бортовых фрикционов.

**3. Повышение усталостной прочности для тракторов ЧТЗ типа Т10, Т12.** Учитывая знакопеременный характер нагружения несущей системы от воздействий ходовой системы, наличие «пробоя подвески» может приводить к зарождению и дальнейшему развитию усталостных трещин в процессе эксплуатации (раздел 4.5), а также к разгерметизации трансмиссии и общему снижению жесткости силового блока [27, 238], что подтверждено экспериментально (раздел 5.4, рис. 5.14в, 6.5).



*Рис. 6.5. Возникновение трещин в верхнем листе корпуса заднего моста рамы на некоторых бульдозерах Б10 (а), Б12 (б) (соответственно на базе тракторов Т10, Т12) после 3000...4500 моточасов работы.*

С целью повышения усталостной прочности верхнего листа и заднего моста рамы в целом у тракторов типа Т10, Т12 необходимо снизить значения напряжений в опасных зонах. Для этого была изменена конструкция рамы и заднего моста (рама и задний мост повышенной прочности типа Т10М2, с вынесенной осью качания тележек), увеличена толщина верхнего листа с 13 до 18 мм.

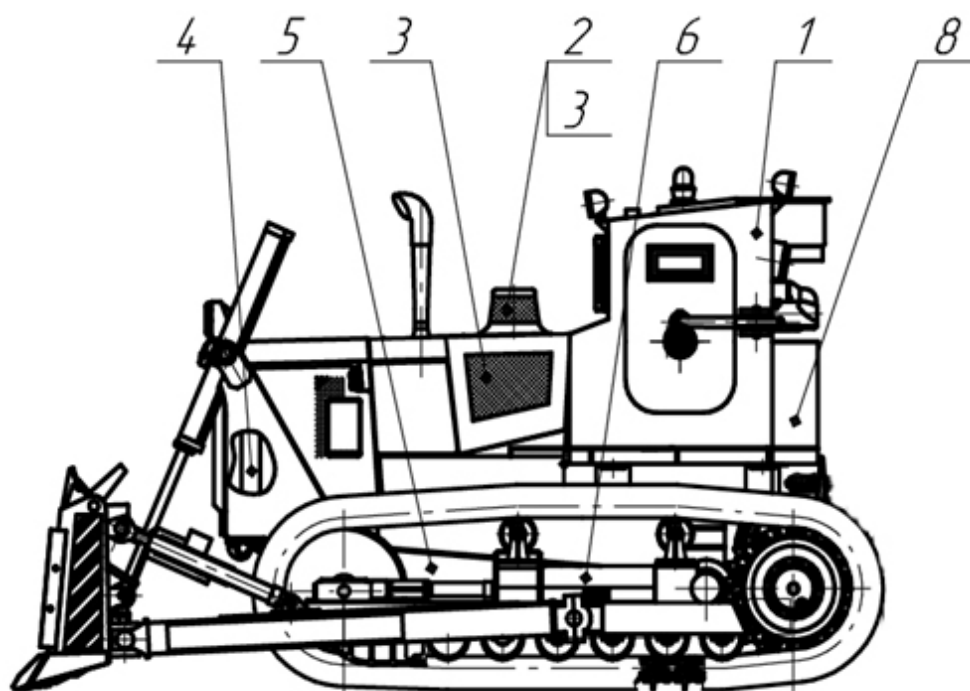
Для спецмашин по патенту РФ № 72454 применялась измененная конструкция подвески (увеличена прокачка и усилено переднее крепление балансирной балки). На бульдозере Б8 так же использовались наружные усиления рамы по патенту РФ № 17909 (рис. 6.4).

#### 4. Защита от радиоактивной пыли и грязи.

Важным фактором для КГМ (рис. 6.5), работающих на РЗМ, является уменьшение количества радиоактивной пыли и грязи, попадающей внутрь машины и являющейся дополнительным источником излучения.

Для своевременной дезактивации внутри машины так же необходимо обеспечить быстрый доступ ко всем узлам и деталям шасси.

Использование единых поддонов защиты двигателя и трансмиссии с механизмом для их съема (патенты РФ № 17910 и № 2194637 [168, 169]) позволяет повысить защиту узлов МТУ, избежать лишних зазоров, через которые в машину может попадать радиоактивная пыль и грязь, а также быстро снять (для доступа к узлам машины снизу) и установить поддоны защиты на место.



*Рис. 6.6. Схема БРА на базе трактора Т10М с ПРЗ оператора (1 этап)*

*1 – защитная кабина с оборудованием; 2 – предфильтр; 3 – защитные сетки; 4 – блочный радиатор; 5 – единый поддон защиты двигателя; 6 – единый поддон защиты трансмиссии; 7 – фильтро-вентиляционная установка (ФВУ) с правой стороны (условно не показана); 8 – защита топливного бака.*

Минимизация количества зазоров хорошо обеспечивается применением крупных формообразующих защитных деталей (например, из пластика, по патенту РФ № 68095 [176], кроме того пластик не образует вторичного ГИ).

Одним из мероприятий по защите узлов от попадания радиоактивной пыли внутрь машины является установка легкоъемных защитных сеток на воздухозаборник двигателя и другие воздухопритоки (рис. 6.5) [88, 95]. Предфильтр устанавливается на машину в условиях повышенной запыленности. Он забирает большую часть пыли, не допуская ее попадания в основные ступени очистки воздухоочистителя. Защитные сетки также задерживают большую часть радиоактивной пыли. После выхода машины из зоны работ сетки и предфильтр необходимо очистить или утилизировать.

В системе охлаждения двигателя тракторов рекомендуется использование «обратного» потока. При этом воздух забирается из более чистой зоны (сверху и с боков капота) и выбрасывается через решетку радиатора, выдувая радиоактивную пыль, поднимаемую отвалом бульдозера.

При дезактивации машины необходима герметичность электроразъемов для защиты их от попадания воды и специальных растворов при дезактивации.

5. Для улучшения защиты оператора от излучения узлами шасси КГМ необходимо располагать кабину в соответствии с рекомендациями разделов 2.4.1, 3.2.1, 3.2.2, 6.3. Для быстрой замены узлов и большей однородности (по толщине) защитного экрана шасси рекомендуется использовать блочно-модульную компоновку. Во избежание прострела облучения в местах с меньшим, чем у основной защиты (с требуемой приведенной эквивалентной толщиной защитного экрана), уровнем ПРЗ, необходима установка специальных защитных элементов (заделок).

**6. Использование сигнально – дозиметрической аппаратуры по ПРЗ** с выходом на общий динамик голосового предупреждения (о работоспособности систем машины) позволит иметь своевременные данные о дозе излучения, полученной оператором за время работы, и контролировать состояние систем КГМ.

**7. Особенности ряда предлагаемых конструкций машин с ПРЗ и под установку ПРЗ** приведены в табл. 6.9 и технической литературе: КГМ [87, 170...185], спецтехника с БПРЗ [28, 105...108, 186, 187].

Рассмотрим, в качестве примера, некоторые основные конструктивные решения по доработке гусеничных промышленных тракторов ЧТЗ класса 10 – Т11 и класса 15 – Т13 (после доработки – Т14) и агрегатов на его базе [71, 72, 88, 241] при их использовании на РЗМ (патент РФ на промобразец № 68095 [176]). Эти решения универсальные и могут применяться в конструкции любой КГМ с ПРЗ.

Трактор Т13, по сравнению с Т11, имеет:

- максимально возможную грузоподъемность при этом возможно получение максимальной массы кабины (максимального уровня ПРЗ);
- максимальную защиту оператора от ГИ грунта узлами шасси (до 17% выше, оценка по методике раздела 3.1, формула 3.7 [76]) за счет больших габаритов шасси и расположения оператора ближе к его центру.

Хотя, если за основу оценки брать маневренность машины (возможность работы в стесненных условиях), то у Т11 она выше, чем у Т13, из-за меньших габаритов и веса.

Трактора Т11 и Т13 имеют ряд конструктивных отличий интересных с точки зрения использования машины на РЗМ (рис. 6.7) [88, 173, 176]:

- кабина капсульного типа, откидываемая гидроцилиндром [180], при этом, обеспечивается наиболее полная герметичность обитаемого объема с минимальным количеством вырезов в полу кабины, быстрый и удобный доступ к узлам и агрегатам под ней;



*Рис.6.7. Некоторые конструктивные особенности бульдозеров на базе тракторов Т11(а) и Т13(б) производства ЧТЗ (откидываемая кабина в виде «капсулы», поворотные створки и лобовина капота для быстрого доступа к узлам трактора и др.). Патенты РФ № 65011, 68095, 92836 [173, 176, 180] и др.*

– применение во внешнем строении машины крупных пластиковых формообразующих деталей [173, 176], приводящее к минимальному количеству зазоров и заманов, являющихся накопителями радиоактивной пыли и грязи и ухудшающими проведение дезактивации специальными растворами;

– большие единые поворотные боковые створки капота и отдельный поворотный щиток (для доступа к фильтру воздухоочистителя) [173] позволяют быстро добираться к подкапотным узлам и заменять их при необходимости (у Т10М и Т12 по 4 боковые створки на сторону, крепящиеся болтовыми соединениями, время их полного снятия и установки порядка 5... 7 мин);

- передняя поворотная защитная створка-решетка для осуществления простой и эффективной очистки и продувки сердцевины радиаторов при необходимости;

- вариант герметичного исполнения электроразъемов защищает их от попадания воды и специальных растворов при дезактивации машины;

- электронный щиток приборов и новая сигнально-дозиметрическая аппаратура с выходом на общий динамик для голосового предупреждения о состоянии систем трактора, в т.ч. возможно подключение датчиков уровня ГИ, полученной оператором дозы излучения и др.

Важным фактором для такой машины является уменьшение количества радиоактивной пыли и грязи, попадающей внутрь шасси и являющейся дополнительным источником излучения (основным при обслуживании и ремонте техники вне рабочей зоны РЗМ), и быстрое их удаление, за счет:

- установки легкоъемных защитных сеток на воздухозаборник воздухоочистителя двигателя и другие воздухопритоки (для охлаждения радиаторов и т.д.);

- минимального времени на очистку машины (в т.ч. замену фильтров воздухоочистителя) за счет быстрооткрываемых створок капота и замков на воздухоочистителе (простой конструкции крепления), створках капота и ряде других узлов;

- использования в системе охлаждения МТУ гусеничного промышленного трактора «обратного» потока для охлаждения радиаторов (при этом воздух забирается из более чистой зоны вокруг капота (сверху и с боков) и выбрасывается через решетку радиатора, выдувая радиоактивную пыль, поднимаемую отвалом бульдозера);

- установки единых поддонов защиты двигателя и трансмиссии, патенты РФ № 17910, 2194637 [168, 169] (у тракторов типа Т10М – 3 поддона защиты двигателя и 3 или 4 защиты трансмиссии (в зависимости

от модификации) с зазором между поддонами защиты по ЧТД – 20 мм, через эти зазоры в трактор попадает 15 ... 25 кг радиоактивной грязи);

– использование специальных элементов (заделок) уменьшающих количество зазоров и щелей снаружи машины, а также площадок, на которых может скапливаться радиоактивная грязь (например, на раме тележки трактора, патент РФ № 83466 [177]).

Изменение передаточного отношения трансмиссии пропорционально увеличению массы машины (кабины) из-за установки ПРЗ (для получения оптимальных по производительности тяговых усилий). Для тракторов ЧТЗ, в том числе у Т11 и Т13 оно осуществляется путем изменения (замены 2-х шестерен) передаточного отношения цилиндрической пары КПП (от 0,88 до 1,43, рис. 5.9б). При правильном выборе передаточного отношения возможно повышение технической производительности бульдозера с большей из-за установки ПРЗ массой, по сравнению с базовой машиной, до 22% [73, 74]. Дальнейшее повышение технической производительности БА или БРА может достигаться соответствующим увеличением объема отвала. По возможности у работающей на РЗМ техники необходимо обеспечивать максимально допустимую транспортную скорость для уменьшения времени ввода – вывода машины из зоны работ.

Установка тяжелой кабины, рост тяговых усилий приводят к увеличению нагрузки на узлы трактора и в первую очередь на узлы ходовой части и на раму трактора. Эти узлы усилены за счет применения рамы повышенной прочности, с вынесенной осью качания тележек и установки усиленных тележек по патенту РФ № 135610 [183].

Грузоподъемность ходовой части тракторов Т11 и Т13 поднята за счет использования в катках и колесах подшипников скольжения по патентам РФ № 341238, № 53998. Ряд других технических решений по ходовой части таких тракторов показан в патентах РФ № 2235033 (повышение надежности крепления ведущего колеса), 72454 (усиленная подвеска) и др.



## **6.5.2. По конструкции и технологии изготовления защитной кабины**

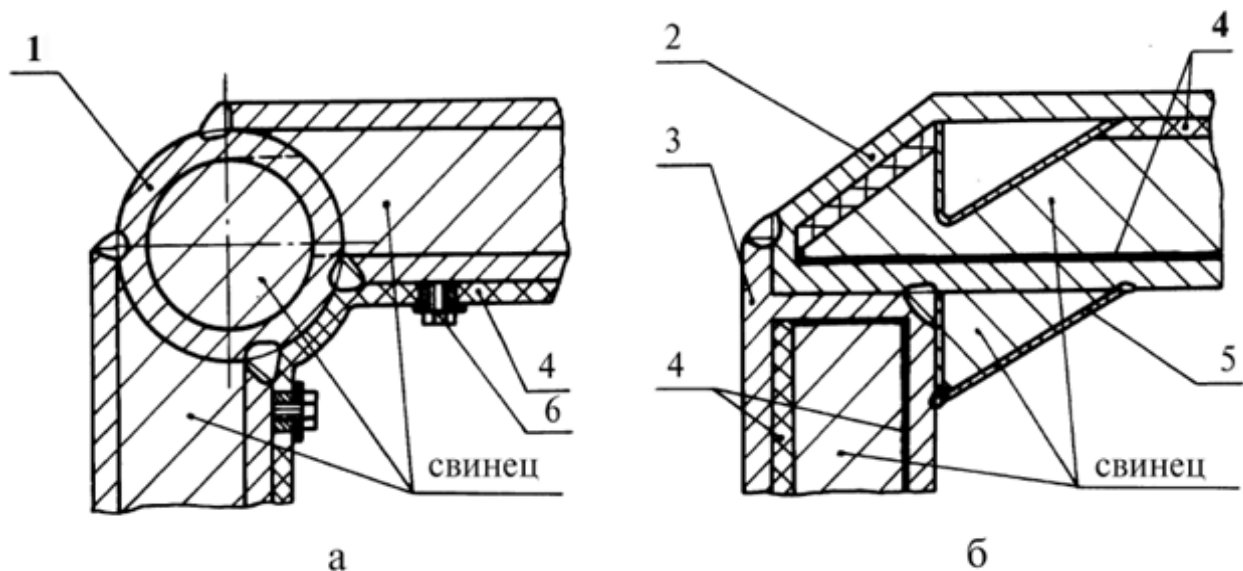
Ранее кабины с ПРЗ в основном изготавливали по методике ЦНИИКИМТ (г. Москва). Эти кабины представляли собой стальной каркас из труб (толщиной 8 мм), обшитый снаружи и внутри стальными листами (толщиной 8 мм), с зазором между листами (выбранным по заданной ПРЗ) и самими трубами залитыми свинцом. Внутри кабины крепилась теплоизоляция (рис. 6.8а). Основные недостатки такой конструкции:

1. Ослабленные зоны по защите от ГИ в местах соединения панелей (прострел излучения по стальным стенкам трубы), уровень защиты которых для рассматриваемых условий  $\sim 75\%$  от уровня защиты стенок – панелей [200]. С увеличением энергии и мощности излучения РЗМ разница между уровнями защиты этих ослабленных зон и самих панелей будет резко увеличиваться.

2. С целью наиболее полного заполнения внутренних полостей труб, свинец нагревали до температуры  $600^{\circ}\text{C}$ . Однако при заполнении расплавленным свинцом закрытых полостей трубчатого каркаса, в местах отверстий в трубах, возможно более быстрое остывание свинца (перекрывающего проходное сечение) и образование, по мере выхода газов из остывающего в трубах свинца, пустот внутри труб – что недопустимо с точки зрения защиты от ГИ. Заливка большого количества сильно нагретого жидкого свинца в полости стенок (до 900 кг и более в каждую) приводит к температурной деформации каркаса, стенок и кабины в целом.

Концентрация аэрозоли в рабочем помещении нарастает с повышением температуры нагрева свинца, а размер частиц уменьшается. Чем меньше частицы свинцовой пыли, тем они глубже проникают в дыхательные пути и тем более опасны для человека [142].

3. Наличие теплоизоляции внутри кабины, вырезы в ней под крепление и установку узлов существенно усложняют дезактивацию внутреннего объема кабины.



**Рис. 6.8.** Узел соединения защитных стенок кабины:

– по методике ЦНИИКИМТ (а);

– предложение (б) по патентам РФ № 2009555 и 2060190 [164, 166]

1 – стальной каркас, 2,3 – защитные стенки кабины, 4 – теплоизоляция, 5 – защитный элемент стыка, б – элементы крепления теплоизоляции

#### 6.5.2.1. Практические рекомендации по повышению защитных свойств кабины

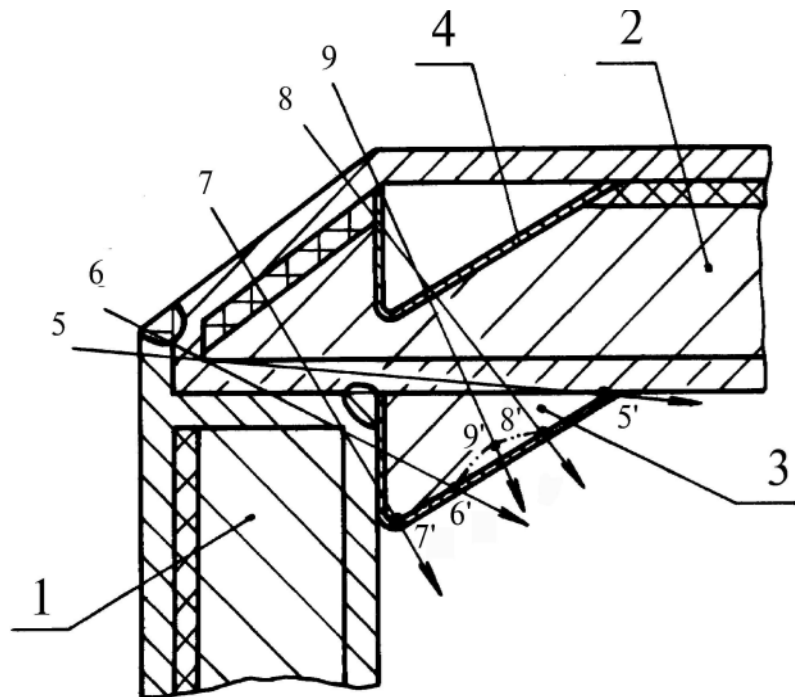
Основные предлагаемые технические решения приведены в литературе [68].

Предлагается перекрыть стык панелей дополнительным защитным элементом (рис. 6.8б), который представляет собой установленный внутри узла в месте соединения панелей V – образный желоб, заполненный свинцом (патент РФ № 2009555 [164]).

Предложенное соединение отличается тем, что: внешний лист одной из панелей перекрывает снаружи стык панелей; защитный элемент установлен с внутренней стороны стыка и имеет V-образную форму.

Форма защитного элемента выбрана из следующих соображений. Уровень кратности ослабления стыка панелей должен быть равен уровню кратности ослабления самих панелей.

Путь прохождения ГИ от внешнего источника в районе стыка панелей показан на рис. 6.9. Кривая, заданная точками 5' - 8' - 9' - 6' - 7', является примерной границей равноценных защищающих толщин свинца и определяет оптимальную форму защитного элемента.



*Рис. 6.9. Путь прохождения ГИ в месте соединения защитных стенок кабины (5' - 8' - 9' - 6' - 7' - граница необходимой защищающей толщины). 1-2 - защитные стенки-панели кабины; 3 - защитный элемент стыка; 4 - вставка; 5... 9 - некоторые, наиболее опасные, направления хода ГИ.*

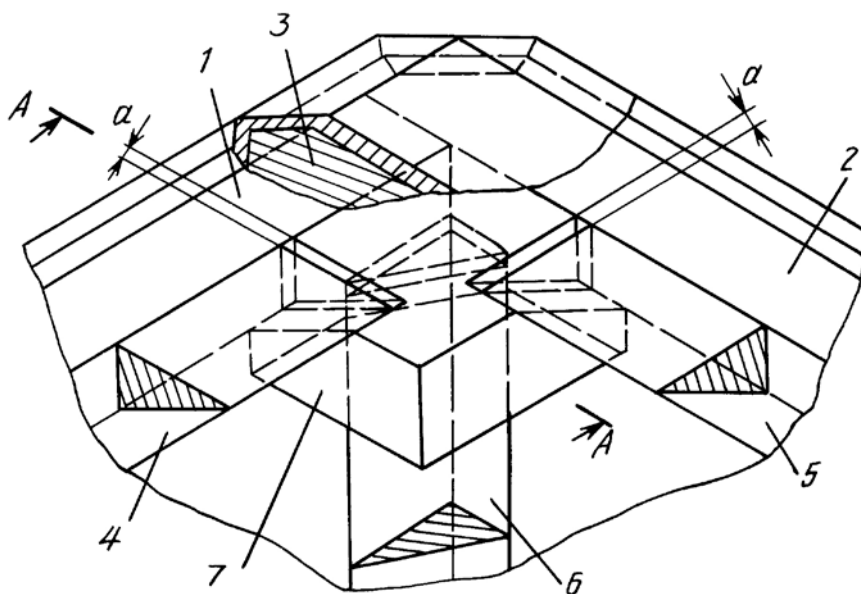
Как показали расчеты, такое решение защитного элемента, по сравнению с применяемым ранее (по патенту США [17]), при одинаковом уровне защиты (без учета снижения массы за счет вставок 4, рис. 6.9) имеет в три раза меньший вес за счет более рациональной формы защитного элемента внутри узла.

Защитный элемент обеспечивает защиту от радиоактивных излучений в районе стыка панелей (соединения металла стенок). В направлении лучей 8 и 9 имеет место «лишний» свинец. В панели 1, установленной торцом в соединении «лишнего» свинца почти нет, а в панели 2, находящейся в плоскости стыка, объем «лишнего» свинца может быть равен объему свинца в защитном элементе.

Внутри панели 2 «лишний» свинец может быть убран установкой вставки 4 (рис. 6.9), поперечное сечение которой имеет форму поперечного сечения защитного элемента, вставка установлена эквидистантно защитному элементу в направлении, перпендикулярном плоскости стыка и прикреплена к наружной стенке панели с образованием незаполненной свинцом полости (патент РФ № 2060190 [166]).

Введение вставок позволило уменьшить вес кабины и сэкономить дорогостоящий свинец (до 7 % от массы свинца, установленного в одноместной кабине) без ухудшения требуемых защитных характеристик машины, или использовать эту экономию свинца для увеличения ПРЗ кабины.

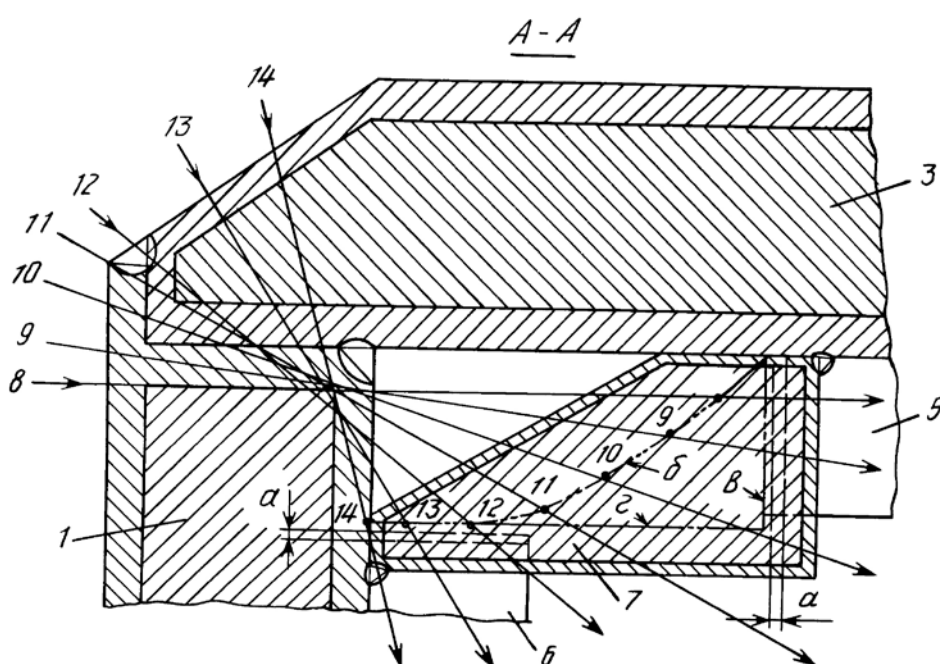
При соединении трех взаимно перпендикулярных панелей возможен «прострел» радиоактивных излучений в месте соединения защитных элементов между собой (рис. 6.10, зазор «а»).



**Рис. 6.10.** Узел соединения стенок кабины (патент РФ № 2060189) [165]: 1,2,3 – защитные стенки – панели кабины; 4,5,6 – защитные элементы стыков; 7 – заделка; а – зазор между защитным элементом и заделкой (место «прострела» излучения)

Для перекрытия прямого «прострела» радиоактивного излучения в районе стыка двух панелей и упрощения установки защитных элементов в углах кабины крепятся заделки, заполненные внутри свинцом. Выемки в заделках выполнены по форме поперечного сечения защитного элемента, входящего в выемку. Защитный элемент устанавливается в заделку на глубину 10...15 мм, при этом зазор «а» между защитным элементом и стенкой выемки, через который возможен прострел радиоактивного излучения, перекрывается свинцом заделки.

На рис. 6.11 условно показано направление радиоактивных лучей, проходящих в районе зазора «а». Пунктирной линией «б» показана необходимая толщина свинца для обеспечения равноценной со стенками защиты при «простреле» через зазор «а». Необходимая толщина свинца при «прострелах» через зазор «а» показана кривыми «в» и «г».



**Рис. 6.11.** Пути прохождения радиоактивных лучей в районе зазора

Исходя из условия равной кратности ослабления радиоактивных излучений во всех точках кабины, при взаимно перпендикулярной установке панелей, оптимальной формой заделки является четырехгранная прямоугольная призма с выемками.

В самом общем случае (при стыке более трех панелей) форма многогранника может быть другой. Свинец во внутренней плоскости заделки (ограниченной кривыми  $b$ ,  $в$  и  $г$ ) является «лишним», но извлекать его технологически сложно.

#### **6.5.2.2. Предлагаемая технология изготовления защитной кабины**

Технология изготовления кабины с ПРЗ должна обеспечивать требуемые противорадиационные характеристики и безопасность работ при изготовлении.

Известны несколько вариантов применения свинца в качестве основного элемента защиты кабины:

- крепление болтами к стенкам кабины свинцовых листов (плит);
- засыпка пространства между листами стенок свинцовой дробью;
- заполнение пространства между листами стенок кабины расплавленным свинцом.

Первые два способа могут использоваться лишь при доработке уже существующих машин, так как они не обеспечивают необходимый уровень защиты оператора из-за возможного «прострела» ГИ через ослабленные зоны в ПРЗ. В первом случае ослабленными зонами являются места соединения (зазора) между защитными плитами и элементы их крепления. Во втором случае – свободное пространство между отдельными дробинами.

Наиболее полно требованиям защиты оператора отвечает заполнение жидким свинцом внутренних полостей между стенками кабины. При таком способе изготовления можно практически избежать зазоров и ослаблений в свинцовой защите. Однако при этом предъявляются повышенные требования к качеству заливки: контроль толщины свинца, отсутствие раковин и полостей, не заполненных свинцом, которые являются ослаблениями ПРЗ.

Кроме того возникают вопросы безопасности работ, так как образующиеся при плавлении и заливке пары свинца чрезвычайно вредны для здоровья. Поэтому для обеспечения безопасности все работы по заливке защитных стен кабины должны проводиться с использованием изолирующих противогазов.

Технология изготовления защитной кабины связана с применением в качестве защиты жидкого свинца и напрямую зависит от конструкции защитной кабины.

**При наличии каркаса из труб** (методика ЦНИИКИМТ) (рис. 6.8а), заливка труб проводится закрытым способом (через заливные отверстия). Для этого необходим либо повышенный нагрев свинца (на практике до 600°C, что значительно выше температуры его плавления 327 °C), либо подогрев стального каркаса кабины в печи.

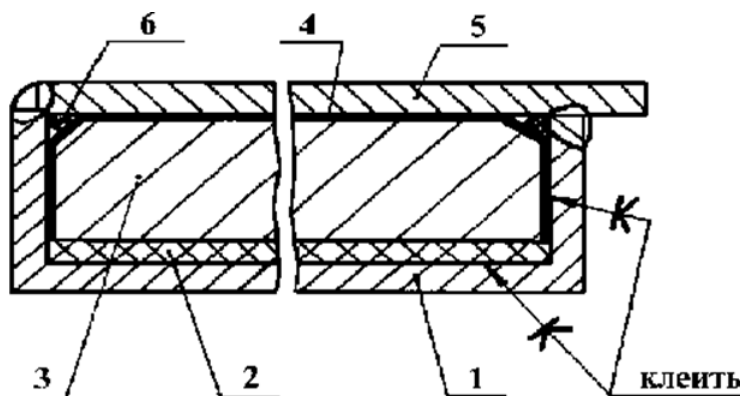
Нагрев свинца до 600°C приводит к его интенсивному испарению, которое быстро нарастает при дальнейшем повышении температуры. Пары свинца на воздухе быстро конденсируются, окисляются и превращаются в аэрозоль (взвесь мельчайших частиц в воздухе). С дальнейшим повышением температуры свинца нарастает концентрация аэрозоли и уменьшается размер частиц. Чем меньше частицы свинцовой пыли, тем они глубже проникают в дыхательные пути и тем более опасны для человека [142].

Нагрев кабины требует соответствующего специального оборудования и больших энергозатрат.

Необходимость переворачивать кабину на протяжении технологических операций заливки способствует ее деформации и усложняет процесс ее изготовления. Заливка большого количества сильно нагретого жидкого свинца в полости стенок (до 900 кг и более в каждую) вызывает значительные температурные деформации. Кроме того, нагрев кабины не гарантирует отсутствия раковин и пустот в заливке.

Образование раковин и пустот связано с тем, что свинец остывает неравномерно вглубь от поверхности, граничащей с атмосферой. Кислород и другие газы, захваченные жидким свинцом при нагревании, не всегда могут выйти в атмосферу через образовавшуюся свинцовую пробку (застывший слой свинца) в заливных отверстиях. Данный дефект ослабления ПРЗ трудно проконтролировать и исправить.

При отсутствии трубчатого каркаса (предлагаемый вариант изготовления [68], патент РФ № 1782843 [163], рис. 6.7б) сборка готовой кабины начинается со сборки формы (открытая прямоугольная сварная стальная коробка из частей стенок) под заливку, в которой отсутствуют внутренние полости и сложные переходы (рис. 6.12).



*Рис. 6.12. Защитная стенка-панель кабины: 1 – элемент стенки (форма под заливку); 2 – картон асбестовый; 3 – свинец; 4 – бумага асбестовая; 5 – наружный стальной лист; 6 – шнур асбестовый.*

Заполнение такой формы свинцом осуществляется открытым способом, носит простой характер, поддается визуальному контролю и обеспечивает высокое качество заливки. Заливка свинцом открытым способом позволяет обеспечивать высокое качество заполнения и исключить раковины и пустоты, так как происходит свободное газовыделение по всей заливаемой площади. Постоянный визуальный контроль за процессом заливки позволяет регулировать ее скорость и полноту заполнения в различных участках емкости.



Высокая текучесть свинца не требуется, поэтому свинец нагревают до температуры близкой к температуре плавления ( $327^{\circ}\text{C}$ ), при этом испарения свинца незначительны, пары еще малотоксичны [142].

Такой способ изготовления свинцового защитного экрана позволяет:

- повысить безопасность работ,
- обеспечить надежный контроль и высокое качество изготовления,
- снизить энергозатраты, так как заливка свинца происходит при минимальных температурах.

Перепад температур между холодной сталью и горячим свинцом при заливке стальных коробок может приводить к нежелательным температурным деформациям. При изготовлении опытных образцов, вследствие температурных деформаций наблюдались коробления стенок (до 25мм и более) и обрывы сварных швов. С целью ликвидации этих явлений на дно стальной коробки перед заливкой устанавливается слой термоизоляционного материала, например асбестового картона (рис. 6.12).

Для предотвращения затекания жидкого свинца под лист асбестового картона и всплытию листа теплоизоляции, последний крепят ко дну коробки клеем (стеклом натриевым жидким содовым ГОСТ 13078). Перед приваркой наружных стальных листов между ними и свинцом устанавливается асбестовая бумага во избежание температурного влияния сварного шва на свинец. В местах возможных больших (3...5 мм) зазоров между свариваемыми деталями, укладывается асбестовый шнур.

Слои асбестового картона и бумаги внутри защитных стенок - панелей на границе сталь – свинец, препятствуя резкому высокотемпературному нагреву панелей при заливке свинцом и короблению конструкции, выделению паров свинца при приварке наружных листов панелей, а также выполняют функцию теплоизоляции для создания необходимого микроклимата в кабине при работе машины на радиоактивно зараженной местности.

## **6.6. Рекомендации по конструкции радиоуправляемой техники**

На территории с высоким уровнем радиации, где работа оператора наиболее опасна, все более широкое применение получают роботизированные комплексы с дистанционным управлением. На основе проведенных работ и испытаний, в том числе в эксплуатации, предлагается использование народнохозяйственной техники в качестве базовой для рабочих машин (робота) и машин управления, при этом [85, 87]:

**1. Выбор базовой машины.** Базовая машина должна управляться электросигналами (при этом возможно использование гидроусилителей), желательно иметь на машине возможность установки различного рабочего оборудования (бульдозерного, рыхлительного, погрузочного, кранового, лебедочного и др.).

**2. Система управления.** При проектировании техники с дистанционным управлением для работы на РЗМ *особое внимание следует уделить защите управляющего радиосигнала от помех и противорадиационной защите аппаратуры управления.*

Радиотелевизионные средства системы управления должны:

– управлять запуском и остановкой двигателя, движением, рабочими органами машины, МТА по радиоканалу [87, 257] с возможностью контроля за работой машины по телевизионным каналам на расстоянии до 2000 м в условиях городской застройки;

– иметь длительность команды управления порядка 0,1 сек и время ее исполнения  $\approx 0,3$  сек;

– обеспечивать работу в условиях несанкционированных помех на радиоактивно зараженной местности;

– иметь возможность непосредственного ручного управления;

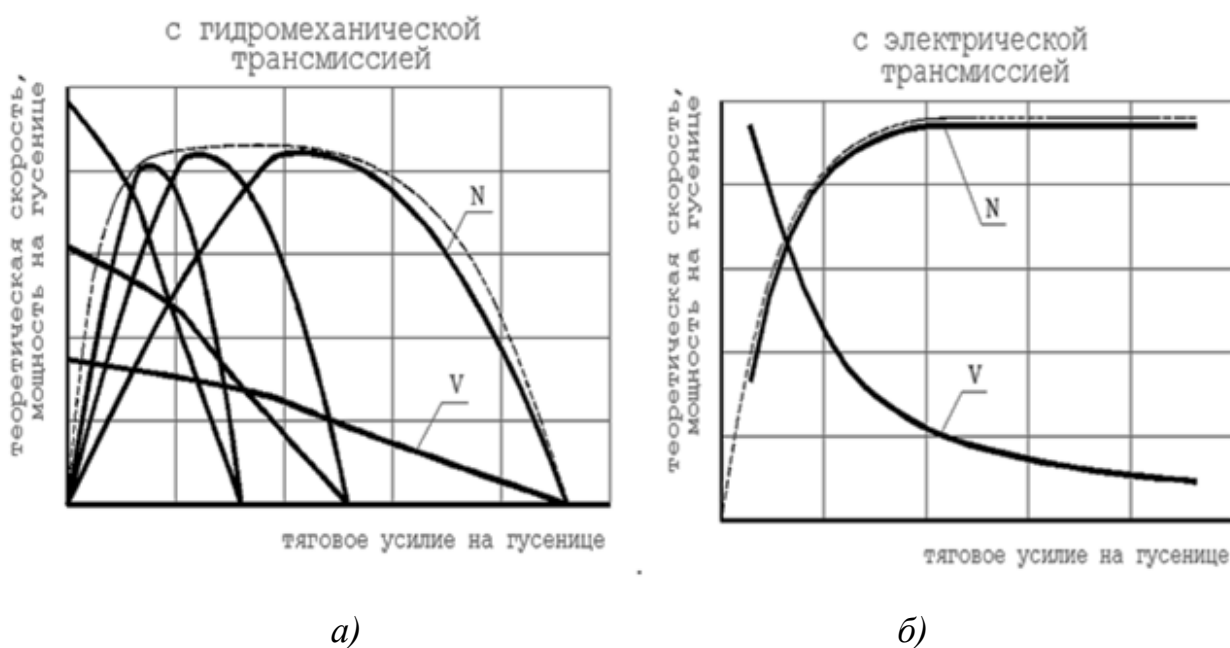
– обеспечивать аварийную остановку машины при выходе машины из зоны радиоуправления или потере управления.

Необходимо рассмотреть возможность управления машиной с использованием спутниковых систем GPS или ГЛОНАСС.

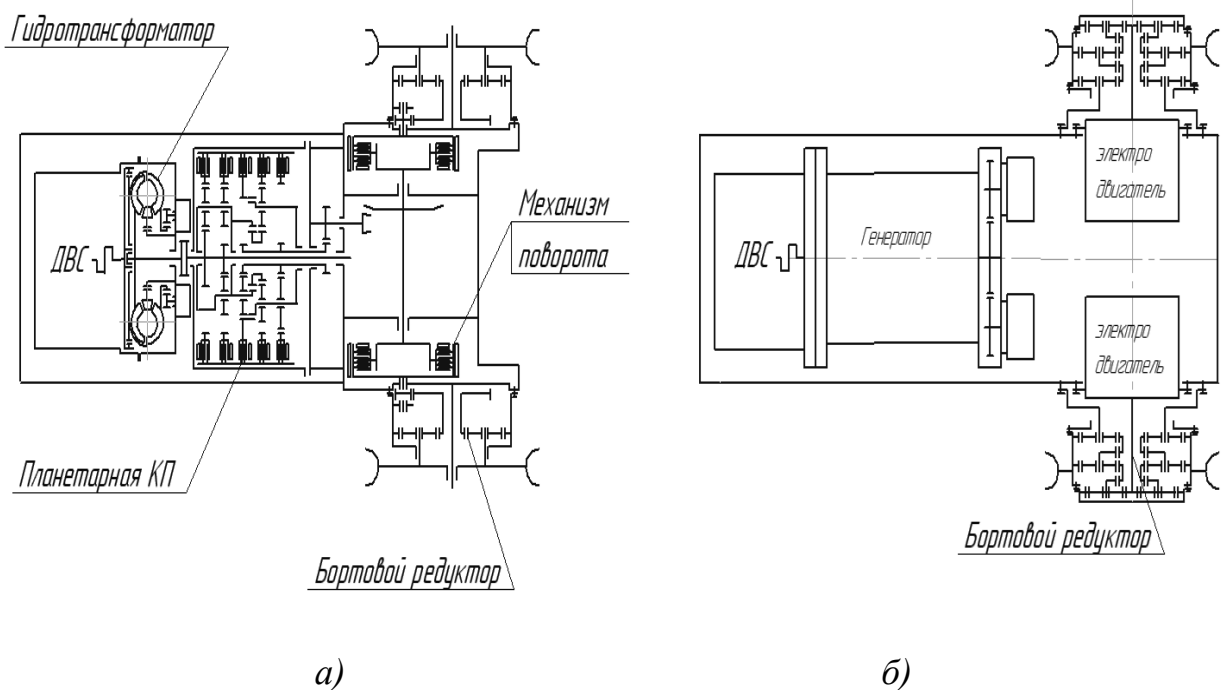
3. При выборе трансмиссии, по результатам проведенных исследований, на сегодняшний день *для радиоуправляемых агрегатов наиболее эффективна электромеханическая бесступенчатая трансмиссия с обратной связью между трансмиссией и двигателем*, выполненная, например, по патенту РФ № 92844 [179].

Электромеханическая МТУ обладает рядом технических преимуществ:

- позволяет легко осуществлять автоматическое управление машиной,
- бесступенчатое автоматическое регулирование тягового усилия и скорости движения;
- позволяет расширить диапазон максимальной мощности (рис. 6.13),
- повышенная надежность в эксплуатации за счет меньшего (на 60...75%) количества трущихся деталей (пар шестерен и др), передающих нагрузку (рис.6.14).



**Рис. 6.13.** Тягово-скоростная характеристика трактора с гидромеханической (а) и электромеханической (б) трансмиссией



**Рис. 6.14.** Кинематические схемы гидромеханической (а) и электромеханической (б) трансмиссии

В настоящее время наиболее перспективным является использование в трансмиссии электромашин на базе переменного тока – асинхронных электродвигателей или вентильно – индукторных электромашин с электронным управлением (применены на тракторе ДЭТ-400), связанным с системами управлением двигателем (типа «common – rail»), самой машиной и рабочим оборудованием.

### **6.7. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНКРЕТНЫХ ГУСЕНИЧНЫХ И КОЛЕСНЫХ МАШИН НА РАДИОАКТИВНО ЗАРАЖЕННОЙ МЕСТНОСТИ**

Рассмотрим типовые примеры расчета эффективности различных КГМ на РЗМ с применением ПРЗ оператора, используя основные зависимости противорадиационной защиты оператора и технических параметров машины, полученные в главах 2...6. Расчет затрат ведем в условных единицах (у.е.).

В разделе 2.3 приведена технико-экономическая оценка параметров машины, обеспечивающих ее максимальную эффективность.

Далее показан расчет эффективности конкретных КГМ с максимальной ПРЗ, исходя из грузоподъемности базовых шасси (раздел 6.1).

**6.7.1. Гусеничный бульдозер на базе трактора Т10.** На поверхности грунта участка производства работ имеются распределенные на площади источники ГИ с энергией = 0,8 МэВ, мощностью 0,15 мЗв/час. Продолжительность работы бульдозера на базе трактора Т10 – 1700 часов в год (6 часов в сутки); время одного ввода - вывода машины из зоны работ – 0,4 часа. Затраты на одного оператора (без учета затрат на реабилитацию ущерба здоровью от излучения) 20000 у.е. в год, затраты на реабилитацию 3000 у.е. / чел. – Зв. Кратность ослабления излучения машиной без защитного экрана кабины 2,75 крат (таблица 5.1).

Определить относительную годовую эффективность применения на БА свинцового защитного экрана кабины ( $V_{BH} = 1,646 \text{ м}^3$ ) с одинаковой толщиной стенок, массой 5000 кг, считая стоимость 1 кг свинца 2,27 у.е.

**Решение:** Принимаем за 1-й вариант машину с защитным экраном кабины, за 2-й вариант машину с обычной кабиной.

Толщину свинцового защитного экрана находим по формуле 3.22.

$$\begin{aligned}
 b_1 &= \sqrt[3]{\frac{V_{BH}}{27} + \frac{M_K}{12\rho} + \sqrt{\frac{V_{BH}M_K}{162\rho} + \frac{M_K^2}{144\rho^2}}} + \sqrt[3]{\frac{V_{BH}}{27} + \frac{M_K}{12\rho} - \sqrt{\frac{V_{BH}M_K}{162\rho} + \frac{M_K^2}{144\rho^2}}} - \\
 &= \frac{2\sqrt[3]{V_{BH}}}{3} = \sqrt[3]{\frac{1,646}{27} + \frac{5000}{12 \cdot 11,34 \cdot 10^3} + \sqrt{\frac{1,646 \cdot 5000}{162 \cdot 11,34 \cdot 10^3} + \frac{5000}{144 \cdot (11,34 \cdot 10^3)^2}}} + \\
 &= \sqrt[3]{\frac{1,646}{27} + \frac{5000}{12 \cdot 11,34 \cdot 10^3} + \sqrt{\frac{1,646 \cdot 5000}{162 \cdot 11,34 \cdot 10^3} - \frac{5000}{144 \cdot (11,34 \cdot 10^3)^2}}} - \frac{2\sqrt[3]{1,646}}{2} = \\
 &= 4,86 \cdot 10^{-2} \text{ м}
 \end{aligned}$$

Кратность ослабления ГИ защитным экраном кабины можно определить по методикам, или по таблицам кратности в зависимости от материала и его толщины, приведенным в литературе [63, 87, 229 и др.]. При толщине свинцовой защиты 4,86 см и энергии ГИ 0,8 МэВ кратность ослабления составит 57,43 крат.

Тогда кратность ослабления излучения на рабочем месте оператора для машины с защитным экраном кабины

$$K_{MI} = K_W \cdot K_{KI} = 2,75 \cdot 57,43 = 157,93$$

Преобразуя формулу (2.3) находим необходимое для каждого варианта количество операторов (округляя его в большую сторону из - за недопустимости превышения ПДД на 1 человека)

$$n_1 = \frac{T \cdot P_o}{K_{MI} \cdot ПДД} = \frac{1700 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3}}{157,93 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 0,08 = 1 \text{ чел.}$$

$$n_2 = \frac{1700 \cdot 3600 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3}}{2,75 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 4,87 = 5 \text{ чел.}$$

Годовые затраты на содержание операторов

$$З_{\Sigma O1} = n_1 \cdot З_1^* + \frac{T \cdot P_o}{K_{MI}} \cdot З_p^* = 1 \cdot 20000 + \frac{1700 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3}}{157,93} \cdot 3000 = 20005 \text{ y.e.}$$

$$З_{\Sigma O2} = 5 \cdot 20000 + \frac{1700 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3}}{2,75} \cdot 3000 = 100278 \text{ y.e.}$$

Затраты на создание защитного экрана

$$З_3 = k_3 C_{ПРМ} M_{ПРМ} = 2 \cdot 2,27 \cdot 5000 = 22700 \text{ y.e.}$$

Относительная эффективность использования 1-го варианта (с защитным экраном кабины) по сравнению со 2-м вариантом (без защитного экрана кабины) из формулы (4.14), при указанных в задаче условиях работы на РЗМ

$$\mathcal{E}_{3_{1-2}} = \left( \frac{З_{3_2} + З_{\Sigma O2}}{З_{3_1} + З_{\Sigma O1}} \right) \cdot \frac{T - n_{O1} T_{\text{сб}}^*}{T - n_{O2} T_{\text{сб}}^*} = \left( \frac{0 + 100278}{22700 + 20005} \right) \cdot \frac{6 - 1 \cdot 0,4}{6 - 5 \cdot 0,4} = 3,29$$

Относительную эффективность БА с учетом повышения технической производительности при установке данной ПРЗ в соответствии с материалами разделов 6.2 и 6.4 определяем, преобразуя формулу (4.14):

– с рациональными передаточными числами трансмиссии, измененными по сравнению с базовым вариантом из-за увеличения массы агрегата при установке ПРЗ (из раздела 6.2 увеличение производительности в 1,22 раза)

$$\mathcal{E}_{1-2} = (\omega_{ч1} / \omega_{ч2}) \cdot \mathcal{E}^*_{1-2} = 1,22 \cdot 3,29 = 4,01 ,$$

– с рациональными передаточными числами трансмиссии и дополнительно увеличенной емкостью отвала (из раздела 6.4 увеличение производительности в 1,3 раза)

$$\mathcal{E}_{1-2} = (\omega_{ч1} / \omega_{ч2}) \cdot \mathcal{E}^*_{1-2} = 1,3 \cdot 3,29 = 4,28 ,$$

где  $\mathcal{E}^*_{1-2} = 3,29$  - расчетное значение относительной эффективности применения защитного экрана для заданных условий.

**6.7.2. Грузовой автомобиль на базе Урал-4320.** На поверхности грунта участка производства работ имеются распределенные на площади источники ГИ с энергией  $E_\gamma = 0,8$  МэВ, мощностью 0,15 мЗв/час. Продолжительность работы автомобиля на базовом шасси «Урал-4320» – 1700 часов в год (6 часов в сутки); время одного ввода -вывода машины из зоны работ при смене оператора – 0,4 часа. Затраты на одного оператора (заработная плата, социальные выплаты, налоги и т.д., без учета затрат на реабилитацию ущерба здоровью от излучения) 20000 у.е. в год, затраты на реабилитацию 3000 у.е. / чел. – Зв. Кратность ослабления излучения машиной без защитного экрана кабины  $K_w = 1,9$  крат.

Определить относительную годовую эффективность применения на машине свинцового защитного экрана одноместной кабины, установленной на продольной оси машины ( $V_{BH} = 1,646$  м<sup>3</sup>) с одинаковой толщиной стенок, массой 2790 кг, считая стоимость 1 кг свинца 2,27 у.е.

Принимаем за 1-й вариант машину с защитным экраном кабины, за 2-й вариант машину с обычной кабиной.

**Решение:** Проверяем возможность установки на машину защитного экрана кабины заданной массы, исходя из допустимой грузоподъемности базового шасси на разных режимах работы. Система определения допустимого интервала массы кабины, исходя из нагрузок на шасси и расчётные случаи машины с грузом и без груза, приведены в разделах 3.5.1, 6.1, в литературе [86]. Там же показано, что масса ПРЗ кабины для заданных условий, равная 2790 кг (таблица 6.1) – является максимально допустимой для грузового автомобиля «Урал-4320».

Толщину свинцового защитного экрана находим по формуле 2.22:

$$\begin{aligned}
 b = & \sqrt[3]{\frac{V_{BH}}{27} + \frac{M_K}{12\rho} + \sqrt{\frac{V_{BH}M_K}{162\rho} + \frac{M_K^2}{144\rho^2}}} + \sqrt[3]{\frac{V_{BH}}{27} + \frac{M_K}{12\rho} - \sqrt{\frac{V_{BH}M_K}{162\rho} + \frac{M_K^2}{144\rho^2}}} \\
 - \frac{2 \cdot \sqrt[3]{V_{BH}}}{3} = & \sqrt[3]{\frac{1,646}{27} + \frac{2790}{12 \cdot 11,34 \cdot 10^3} + \sqrt{\frac{1,646 \cdot 2790}{162 \cdot 11,34 \cdot 10^3} + \frac{2790^2}{144 \cdot (11,34 \cdot 10^3)^2}}} + \\
 + & \sqrt[3]{\frac{1,646}{27} + \frac{2790}{12 \cdot 11,34 \cdot 10^3} - \sqrt{\frac{1,646 \cdot 2790}{162 \cdot 11,34 \cdot 10^3} + \frac{2790^2}{144 \cdot (11,34 \cdot 10^3)^2}}} - \\
 - \frac{2 \sqrt[3]{1,646}}{3} = & 0,028 \text{ м.}
 \end{aligned}$$

По полученной толщине защитной стенки кабины определяется её кратность ослабления ГИ [63, 87, 229 и др.]. У рассматриваемого варианта кратность ослабления ГИ с  $E_\gamma = 0,8$  МэВ стенками кабины ( $K_{K1}$ ) составляет около 7,9 крат. Для грузового автомобиля «Урал-4320», оборудованного защитной кабиной с одинаковой толщиной и ПРЗ стенок, максимально возможное значение кратности ослабления ГИ грунта РЗМ с  $E_\gamma = 0,8$  МэВ на рабочем месте оператора составит:

$$K_{M1} = K_w \cdot K_{K1} = 1,9 \cdot 7,9 = 15,01 \text{ крат,}$$

где  $K_w = 1,9$  – кратность ослабления ГИ грунта узлами шасси с учетом установки кабины (оператора) на продольной оси машины (таблица 5.1б).



Преобразуя формулу (2.3) находим необходимое для каждого варианта количество операторов (округляя его в большую сторону из-за недопустимости превышения ПДД на 1 человека):

$$n_1 = \frac{T \cdot P_o}{K_{M1} \cdot ПДД} = \frac{1700 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3}}{15,01 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 0,849 = 1 \text{ чел.}$$

$$n_2 = \frac{T \cdot P_o}{K_{M2} \cdot ПДД} = \frac{1700 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3}}{1,8 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 7,083 = 8 \text{ чел.}$$

Годовые затраты на содержание операторов:

$$Z_{\Sigma O1} = n_1 \cdot Z_o^* + \frac{T \cdot P_o}{K_{M1}} \cdot Z_p^* = 1 \cdot 20000 + \frac{1700 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3}}{15,01} \cdot 3000 = 2,005 \cdot 10^4 \text{ у.е.}$$

$$Z_{\Sigma O2} = n_2 \cdot Z_o^* + \frac{T \cdot P_o}{K_{M2}} \cdot Z_p^* = 8 \cdot 20000 + \frac{1700 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3}}{1,8} \cdot 3000 = 1,604 \cdot 10^5 \text{ у.е.}$$

Затраты на создание защитного экрана:

$$Z_3 = k_3 \cdot C_{ПРМ} \cdot M_{ПРМ} = 2 \cdot 2,27 \cdot 2790 = 1,267 \cdot 10^4 \text{ у.е.}$$

Относительная эффективность использования первого варианта (с защитным экраном кабины) по сравнению со вторым вариантом (без защитного экрана кабины) с точки зрения ПРЗ, при указанных в задаче исходных данных:

$$\mathcal{E}_{31-2} = \left( \frac{Z_{32} + Z_{\Sigma O2}}{Z_{31} + Z_{\Sigma O1}} \right) \cdot \frac{T - n_1 T_{66}^*}{T - n_2 T_{66}^*} = \left( \frac{0 + 1,604 \cdot 10^5}{1,267 \cdot 10^4 + 2,005 \cdot 10^4} \right) \cdot \frac{6 - 1 \cdot 0,4}{6 - 8 \cdot 0,4} = 9,807$$

Относительную эффективность грузового автомобиля с учетом снижения технической производительности на 30% из-за установки ПРЗ (уменьшение скорости передвижения, массы груза и др.) можно рассчитать, преобразовав формулу (4.14):

$$\mathcal{E}_{1-2} = (\omega_{ч1} / \omega_{ч2}) \cdot \mathcal{E}_{1-2}^* = 0,7 \cdot 9,81 = 6,87,$$

где  $\mathcal{E}_{1-2}^* = 9,81$  – округленное расчетное значение относительной эффективности применения защитного экрана для заданных условий.

## 6.8. РАСЧЕТ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНКРЕТНЫХ МАШИН (ПО П. 6.7) ДЛЯ РАБОТЫ НА КОНКРЕТНОЙ РАДИОАКТИВНО ЗАРАЖЕННОЙ МЕСТНОСТИ

Для КГМ и их кабин при указанных в разделах 6.7.1 и 6.7.2 условиях, определим основные параметры свинцового защитного экрана, обеспечивающие его максимальную эффективность применения на машине. Сравним относительную годовую эффективность использования конкретных КГМ (с оптимальным по эффективности защитным экраном) с соответствующими машинами без защитного экрана и с максимальным по грузоподъемности защитным экраном.

### Решение:

Очевидно, что для рассматриваемых условий максимальная эффективность применения защитного экрана кабины на машине определяется использованием минимального числа операторов.

При шестичасовом рабочем дне оптимальное по работоспособности количество операторов на машине – 1 человек.

Преобразуя формулу (4.14) для нахождения количества операторов, необходимых для работы на РЗМ, найдем необходимую по ПДД кратность ослабления излучения машиной:

$$K_M = \frac{T \cdot P_o}{n_1 \cdot ПДД} = \frac{1700 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 50 \cdot 10^{-3}} = 12,75$$

Тогда необходимая кратность ослабления излучения, обеспечиваемая стенками защитного экрана кабины (с учетом соответствующего базового шасси,  $K_w$  из примеров 6.7.1 и 6.7.2, таблицы 5.1):

– для грузового автомобиля на базе Урал-4320:

$$K_K = \frac{K_M}{K_w} = \frac{12,75}{1,9} = 6,71$$

– для бульдозера на базе трактора Т10:

$$K_K = \frac{K_M}{K_w} = \frac{12,75}{2,75} = 4,64$$

По полученной толщине защитной стенки кабины определяется её кратность ослабления ГИ [63, 87, 132 и др.]. При энергии гамма – квантов 0,8 МэВ и соответствующей кратности толщина свинцовой защиты:

– для грузового автомобиля на базе Урал-4320 толщина 2,57 см (при  $K_K = 6,71$ );

– для БА на базе трактора Т10 толщина 2,13 см (при  $K_K = 4,64$ ).

Массу свинцового защитного экрана кабины получим по третьей формуле из системы (3.20):

– для грузового автомобиля на базе Урал-4320:

$$\begin{aligned} M_{\text{ПРМ}} &= \rho \cdot S_{\text{СТ}} \cdot b = 6\rho(a+b)^2 b = 6\rho(\sqrt[3]{V_{\text{ВН}}} + b)^2 b = \\ &= 6 \cdot 11,34 \cdot 10^3 \cdot (\sqrt[3]{1,646} + 2,54 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 2,54 \cdot 10^{-2} = 2,545 \cdot 10^3 \text{ кг} \end{aligned}$$

– для бульдозера на базе трактора Т10:

$$\begin{aligned} M_{\text{ПРМ}} &= \rho \cdot S_{\text{СТ}} \cdot b = 6\rho(a+b)^2 b = 6\rho(\sqrt[3]{V_{\text{ВН}}} + b)^2 b = \\ &= 6 \cdot 11,34 \cdot 10^3 \cdot (\sqrt[3]{1,646} + 2,13 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 2,13 \cdot 10^{-2} = 2,094 \cdot 10^3 \text{ кг} \end{aligned}$$

Необходимо провести проверку возможности установки защиты на машину по несущей способности ходовой части. В данном случае такой расчет не нужен, так как полученная масса ПРЗ кабины, соответствующей машины, меньше максимально допустимой массы ПРЗ (расчетные значения приведены в табл. 6.1). Следовательно, рассчитанная масса 2 545 кг (для грузового автомобиля на базе Урал-4320) и 2094 кг (для бульдозера на базе трактора Т10) может быть установлена на указанное шасси.

Затраты на создание защитного экрана у рассматриваемых КГМ определим по формуле (4.13):

– для грузового автомобиля на базе Урал-4320:

$$Z_3 = k_3 \cdot C_{\text{ПРМ}} \cdot M_{\text{ПРМ}} = 2 \cdot 2,27 \cdot 2545 = 1,155 \cdot 10^4 \text{ у.е.}$$

– для бульдозера на базе трактора Т10:

$$Z_3 = k_3 \cdot C_{\text{ПРМ}} \cdot M_{\text{ПРМ}} = 2 \cdot 2,27 \cdot 2094 = 9,507 \cdot 10^3 \text{ у.е.}$$

Годовые затраты на содержание одного оператора на заданной РЗМ:

$$Z_{\Sigma O} = n \cdot Z_O^* + \frac{T \cdot P_O}{K_M} \cdot Z_P^* = 1 \cdot 20000 + \frac{1700 \cdot 0.15 \cdot 10^{-3}}{12,75} \cdot 3000 = 2,006 \cdot 10^4 \text{ у.е.}$$

Относительную эффективность использования на машине оптимального защитного экрана, по сравнению с машиной без защитного экрана, при указанных в примере условиях работы на РЗМ, определяем преобразуя формулу (4.14):

– для грузового автомобиля на базе Урал-4320:

$$\mathcal{E}_{31-2} = \left( \frac{0 + 1,604 \cdot 10^5}{1,155 \cdot 10^4 + 2,006 \cdot 10^4} \right) \cdot \frac{6 - 1 \cdot 0,4}{6 - 8 \cdot 0,4} = 10,149$$

– для бульдозера на базе трактора Т10:

$$\mathcal{E}_{31-2} = \left( \frac{0 + 1,003 \cdot 10^5}{9,507 \cdot 10^3 + 2,006 \cdot 10^4} \right) \cdot \frac{6 - 1 \cdot 0,4}{6 - 5 \cdot 0,4} = 4,75$$

Относительную эффективность соответствующей КГМ при установке ПРЗ можно рассчитать, преобразовав формулу (4.14):

– для грузового автомобиля на базе Урал-4320 снижение производительности на 30%:

$$\mathcal{E}_{1-2} = (\omega_{ч1} / \omega_{ч2}) \cdot \mathcal{E}_{1-2}^* = 0,7 \cdot 10,15 = 8,05,$$

– для бульдозера на базе трактора Т10 увеличение производительности (при установке оптимального передаточного отношения трансмиссии и соответствующего увеличения отвала) на 12%, раздел 6.4):

$$\mathcal{E}_{1-2} = (\omega_{ч1} / \omega_{ч2}) \cdot \mathcal{E}_{1-2}^* = 1,12 \cdot 4,75 = 5,32$$

Результаты расчетов примеров, приведенных в разделах 6.7.1, 6.7.2 и 6.8 сведём в табл. 6.6. Из таблицы 6.6 видно, что **для достижения максимальной эффективности у каждой КГМ необходима своя масса ПРЗ кабины (с соответствующим изменением параметров КГМ):**

– для автомобиля на базе Урал-4320 оптимальная масса ПРМ составляет 2545 кг;

– для БА на базе трактора Т10 оптимальная масса ПРМ – 2094 кг.

**Таблица 6.6**

Результаты расчета по предлагаемым методикам относительной годовой ( $T=1700$  часов) эффективности машин (защитная кабина с одинаковой толщиной стенок,  $V_{BH}=1,646 \text{ м}^3$ , ПРЗ – свинец, посадка оператора на продольной оси машины, время входа-выхода машины из зоны работ - 0,4 часа) на РЗМ (ГИ на грунте II категории,  $E\gamma=0,8 \text{ МэВ}$ ,  $P_{0B}=0,15 \text{ мЗв/ч}$ ).

Кабина	Толщина ПРЗ, см	Кратность ослабления ГИ		$n_0$ , чел.	Затраты, у.е.		Эффективность	
		Кабины	Машины		$Z_{\Sigma 0}$	$Z_3$	$\mathcal{E}_{3i-B}$	$\mathcal{E}_{i-B}$
<b>Бульдозер на базе трактора Т10</b>								
Серийная (базовая)	-	-	2,75	5	100278	-	1	1
с защитой от ГИ, $M_{\text{ПРЗ}}=2094 \text{ кг}$	2,13	4,64	12,75	1	20060	9507	<b>4,75</b> <sup>*2</sup>	<b>5,18</b> <sup>*3</sup>
с макс. защитой от ГИ, $M^*_{\text{ПРЗ}}=5000 \text{ кг}$	4,86	57,43	157,93	1	20005	22700	3,29	<b>5,32</b> <sup>*4</sup>
								4,01 <sup>*3</sup>
								4,28 <sup>*4</sup>
<b>Грузовой автомобиль на базе УРАЛ-4320</b>								
Серийная (базовая)	-	-	1,8	8	160400	-	1	1
с защитой от ГИ, $M_{\text{ПРЗ}}=2545 \text{ кг}$	2,57	6,71	12,75	1	20060	11550	<b>10,15</b> <sup>*2</sup>	<b>8,05</b> <sup>*5</sup>
с макс. защитой от ГИ, $M^*_{\text{ПРЗ}}=2790 \text{ кг}$	2,8	7,9	15,01	1	20050	12670	9,81	<b>6,87</b> <sup>*5</sup>

\*1 – максимально возможная масса ПРМ; \*2 – максимальная относительная 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; \*5 – эффективность грузового автомобиля с учетом уменьшения производительности на 30%, связанного с установкой ПРЗ (уменьшение скорости передвижения и массы груза).

## 6.9. ОЦЕНКА ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Разработанные методы и методики проектирования, рекомендации по конструкции машин с ПРЗ оператора позволяют выбирать на начальном этапе проектирования (без подробной компоновочной схемы) рациональные параметры КГМ на РЗМ в зависимости от конкретных задач (эффективность работы, максимальный уровень защиты и т.д.).

1. Так, например, использование этих методик и рекомендаций только по теме «Ларец» в 1,42 раза (таблица 6.7) по сравнению с исходным ТТЗ (рассчитанным по предыдущим работам) позволило увеличить уровень ПРЗ кабины (при той же массе) и, соответственно, эффективность КГМ на РЗМ. По теме «Ларец-4» (постановление ЦК КПСС и Совмина СССР от 06.06.86 № 677-196, решение ГК СМ СССР от 11.12.86 № 41) на ЧТЗ создавали БРА: ДЗ-171.1КЗ (на базе тракторов Т-170.61) и ДЗ-132-1КЗ (на базе ДЭТ-250М2) с максимальной ПРЗ оператора не менее  $K = 25$  крат (ТТЗ № 220-09-87, утв. 02.09.87 командиром В/Ч 52684).

Теоретическая оценка ПРЗ опытных машин по выданным заводом материалам (компоновка, расчетные модели и др.) по старым методикам и предложениям по конструкции кабины составили  $K_A = 14,5$  крат,  $K_B = 25,4$  крат. Независимую оценку проводило предприятие В-2652 (исх. В-2652 № 2704 от 17.07.89). В ТТХ утв. ВЧ 52684, показаны уровни защиты для Т-170  $K_B = 70$  крат, для ДЭТ-250М2  $K_B = 80$  крат.

После выбора параметров и использования в конструкции рекомендаций данной диссертационной работы (новая конструкция и технология изготовления кабины, защита ослабленных зон) расчетом были получены следующие уровни защиты: для Т-170  $K_B = 96,4$  крат, для ДЭТ-250М2  $K_B = 125,7$  крат. Данные результаты подтверждены экспериментально независимым источником – воинской частью 12093 (г. Красногорск, Московская обл., исх. №21/01266 от 07.12.89).

**Таблица 6.7.**

*Сравнение результатов расчетов по проектированию машин с ПРЗ по предыдущим и предлагаемой (с учетом рекомендаций по конструкции) методикам, на примере бульдозера ДЗ-171.1КЗ (базовый трактор Т-170.61) с ПРЗ*

№ п/п	По предыдущим методикам и конструкциям	По предлагаемой методике и конструкциям
<b>1</b>	<b>Базовый трактор – Т-170.61</b> масса базового бульдозера – 17380 кг, масса ПРЗ – 5500кг (сталь + свинец), одноместная кабина, внутренний объем – 1,646 м <sup>3</sup> , смещение центра давления при установке ПРЗ – 0,4м.	
<b>2</b>	<b>Уровень ПРЗ</b> Кратность ослабления мощности экспозиционной дозы ГИ трактором (в кабине), крат	
2.1	<b>70 (25,4 по кабине)</b> (ГТХ утв. ВЧ 52684, оценка предприятия В-2652, исх. № 2704 от 17.07.89)	Расчет – <b>96,4*</b> (кабина – <b>35*</b> , толщина стенки в свинцовом эквиваленте 4,4см, кратность ослабления ГИ узлами шасси – <b>2,75</b> ) Испытания <b>99,1*</b> (В/Ч № 12093, г. Красногорск, Московская обл., исх. №21/01266 от 07.12.89)
<b>3</b>	<b>Техническая производительность бульдозера</b> (при срезании слоя грунта II категории на 10-15см и перемещении его на 30м), м <sup>3</sup> /ч	
3.1	<b>70</b> (из Приказа Главнокомандующего сухопутными войсками МО СССР от 15.06.90г. №72) [201]	<b>92</b> (расчетно-экспериментальная оценка, с учетом изменения передаточных чисел трансмиссии, обзорности, увеличения объема отвала...) [161, 231].

\*с учетом изменений конструкции защитной кабины и других рекомендаций работы

**2. Повышение эффективности реальных КГМ на конкретной РЗМ (поле ГИ,  $E_{\gamma} = 0,8$  МэВ,  $R_{0B} = 0,15$  мЗв/ч) с использованием предлагаемых рекомендаций показано в таблице 6.8.**

2.1. Расчет (раздел 6.8, таблица 6.6) и установка оптимальной ПРЗ по критерию «эффект – затраты» в сравнении с базовой машиной, повышает эффективность: у бульдозера с ПРЗ на базе трактора Т10 в 4,75 раза; у грузового автомобиля на базе Урал-4320 в 10,15 раз.

2.2. Оценка КГМ с ПРЗ по производительности (раздел 6.2). Выбор и изменение передаточных чисел трансмиссии КГМ в зависимости от массы и места установки ПРЗ для получения максимального тягового КПД повышают производительность БРА (классов 10 и 25) до 25%.

2.3. Выбор рабочего оборудования по массе машины (раздел 6.4), на примере отвала бульдозера повышает производительность рассмотренных бульдозеров до 34% (с учетом изменения передаточных чисел трансмиссии).

2.4. Учет влияния конструктивного выполнения отдельных узлов защиты и машины в целом:

– рекомендации по компоновке (в том числе по установке кабины) повышают ПРЗ: у гусеничных машин до 50%; у колесных машин до 30%;

– предлагаемые конструктивные решения повышают эффективность применения КГМ, в том числе на РЗМ, уровень и качество ПРЗ, а так же безопасность работ при ее изготовлении (раздел 6.5, таблица 6.9).

2.5. Представленная математическая модель для прогнозирования динамических процессов, в условиях, близких к реальной эксплуатации БРА с ПРЗ позволяет определять уровни напряженности в наиболее нагруженных зонах на начальном этапе проектирования.

**3. Разработанные в диссертации методики, расчеты, рекомендации, конкретные технические решения внедрены в конструкциях машин с ПРЗ оператора и ряда электронных узлов. Основные внедрения приведены в таблице 6.10 и Приложении 1.**



**Таблица 6.8 (начало)**

*Предлагаемый алгоритм выбора (расчета) рациональных параметров конкретных КГМ (с учетом их вклада в эффективность) для работы на конкретной РЗМ (поле ГИ,  $E_{\gamma}=0,8$  МэВ,  $P_{0Б} = 0,15$  мЗв/ч).*

№ п/ п	Основные мероприятия	Место в данной работе	Результат
1	2	3	4
1  1.1  1.2  1.3  1.4	<p><b>Выбор ПРЗ</b> по критерию «эффект – затраты»</p> <p>Расчет интервала допустимой массы ПРЗ на конкретной КГМ (отдельно для гусеничных и колесных машин).</p> <p>Определение ПРЗ узлами шасси (отдельно для гусеничных и колесных машин) и рабочим оборудованием.</p> <p>Определение параметров защитной кабины (в зависимости от ее массы, объема, конструкции стенок и размещения экипажа).</p> <p>Расчет рационального значения ПРЗ (в том числе по массе) машины по критерию «эффект – затраты».</p>	<p>Раздел 3.5.1</p> <p>Разделы 3.1, 3.2 (для шасси), разделы 3.3, 3.4 (для рабочего оборудования).</p> <p>Раздел 3.5</p> <p>Глава 2, рис. 2.3, раздел 4.8, формула 4.14</p>	<p><i>Для машин максимальная эффективность по критерию «эффект – затраты», в сравнении с базовой машиной, составляет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>– у бульдозера с ПРЗ на базе трактора Т10 выше в 4,75 раза;</i></li> <li><i>– у грузового автомобиля на базе Урал-4320 выше в 10,15 раз.</i></li> </ul> <p><i>С увеличением энергии и мощности ГИ РЗМ эффективность ПРЗ и машины в целом будет существенно увеличиваться.</i></p> <p>При высоких уровнях ГИ именно ПРЗ определяет возможность работы (по ПДД оператора) на РЗМ.</p>

Таблица 6.8 (окончание)

1	2	3	4
2 2.1	<p><b>Параметры КГМ с ПРЗ для получения максимальной производительности.</b></p> <p>Выбор и изменение передаточных чисел трансмиссии КГМ в зависимости от массы и места установки ПРЗ: для получения максимального тягового КПД.</p> <p>Выбор конструкции и колесной схемы грузового автомобиля.</p>	<p>Разделы 4.3, 6.2</p> <p>Раздел 4.7</p>	<p><i>Повышение производительности у рассмотренных машин до 25%. С увеличением энергии и мощности ГИ РЗМ масса ПРЗ будет увеличиваться. Реализация (по возможности) этого увеличения массы в тягу будет повышать производительность землеройных машин.</i></p>
3	<p><b>Выбор рабочего оборудования по массе машины, на примере отвала бульдозера.</b></p>	<p>Разделы 4.4, 6.4, графики и формулы на рис. 4.7...4.9.</p>	<p><i>Повышение производительности у рассмотренных машин до 34 % (с учетом изменения передаточных чисел трансмиссии, п. 2 таблицы).</i></p>
4	<p><b>Учет влияния конструктивного выполнения отдельных узлов защиты и машины в целом.</b></p>	<p>Компоновка (в том числе место установки кабины), разделы 3.2, 4.1, 6.3.</p> <p>Новые технические решения, раздел 6.5.</p>	<p><i>Повышение уровня ПРЗ:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– у гусеничных машин до 50 %;</li> <li>– у колесных машин до 30 %.</li> </ul> <p><i>Результат по новым техническим решениям в табл. 6.9</i></p>
5	<p><b>Расчет (пересчет) на прочность и соответствующее изменение узлов машины из-за увеличения нагрузок при установке ПРЗ (прежде всего по несущей и ходовой системам).</b></p>	<p>Разделы 4.5, 6.5.1</p>	<p>Рост уровня напряжений (у Т10 в 1,5 раза при максимальной ПРЗ) может потребовать дополнительных мер по увеличению прочности и надежности несущей и др. систем для надежной работы КГМ с ПРЗ.</p>

**Таблица 6.9 (начало)**

*Предлагаемые некоторые основные конструктивные технические решения по защите и машинам в целом.*

№	Патент (состояние внедрения)	Результат
1	2	3
1	Патент РФ на изобретение № 1782843. Способ изготовления панелей с защитой от радиоактивных излучений [163] (ОПП, введено в ЧТД на серийное производство).	Повышение качества ПРЗ и безопасности работ при ее изготовлении. Теплоизоляция внутри защитного экрана снижает нагрев и коробление панелей (до 25 мм и более) при заливке свинца и не является источником накопления радиоактивной пыли, как у аналогов.
2	Патент РФ на изобретение № 2009555. Узел соединения панелей с защитой от радиоактивных излучений [164] (ОПП, введено в ЧТД на серийное производство).	Защита места соединения панелей (при минимальной массе узла защиты) на уровне защиты самих панелей. Для рассматриваемых условий и машин защита места соединения увеличена на 25%. Общая масса по узлам защиты примерно в 3 раза меньше, чем у узлов по патенту США № 4514640.
3	Патент РФ на изобретение № 2060189. Узел соединения панелей с защитой от радиоактивных излучений [165] (ОПП, введено в ЧТД на серийное производство).	При росте уровня ГИ растет важность защиты места соединения панелей, при высоких уровнях ГИ именно такая защита может определять общий уровень ПРЗ.
4	Патент РФ на изобретение № 2060190. Узел соединения панелей с защитой от радиоактивных излучений [166] (ОПП, введено в ЧТД на серийное производство).	Установка специальных вставок внутри защитных панелей для рассматриваемых условий и машин снижает массу свинца в защите одноместной кабины (~4100кг свинца) порядка до 7% (~ 280кг) свинца при сохранении уровня ПРЗ.
5	Патент РФ на изобретение № 2194637. Способ съема и установки защитного поддона КГМ и устройство для его осуществления [169] (ОПП, введено в ЧТД на серийное производство как опция).	Снятие и установка тяжелых поддонов защиты узлов МТУ снизу, в том числе у машин для работы на РЗМ. Устройство для снятия тяжелых усиленных поддонов высокой прочности, в разы уменьшающих попадание радиоактивной пыли и грязи (п.9) внутрь машины (на тракторах Т10...Т15 один усиленный поддон массой до 150кг и более, вместо 3...4 серийных поддонов)

**Таблица 6.9 (продолжение)**

1	2	3
6, 7, 8	Патенты РФ на изобретение № 2196290 и № 2196291, на модель № 199127. Защитная решетка радиатора бронированной машины [193, 194, 195] (ОПП).	Снижение сопротивления воздушному потоку для спецмашин, уменьшенная площадь для воздухопроводов, снижающая попадание радиоактивной пыли внутрь машины.
9	Патент РФ № 17909. Рама гусеничной машины [167] (ОПП).	Простое повышение прочности несущей системы (рамы) базового шасси, за счет наружных усилений коробчатой формы, установленных между узлами ходовой системы.
10	Патент РФ № 17910. Защитный поддон двигателя гусеничной машины [168] (серийное производство).	Высокая прочность и жесткость поддонов защиты МТУ снизу. В разы уменьшает попадание радиоактивной пыли и грязи внутрь машины (у тракторов Т10...Т15 один поддон вместо 3, 4 серийных поддонов с зазорами по ЧТД 20мм между ними).
11	Патент РФ № 34138. Каток гусеничного транспортного средства [188] (серийное производство, в т.ч. для всех тракторов ЧТЗ классов 10 и 15).	Каток повышенной грузоподъемности с надежным уплотнением, препятствующим попаданию радиоактивной пыли внутрь катка.
12	Патент РФ № 53316. Бульдозер для лесопромышленных работ [189] (серийное производство).	Надежная защита машины от падающих предметов (есть дуги безопасности, защита установлена на амортизаторах) при разборке завалов при ликвидации аварий (в т.ч. на АЭС) и др.
13	Патент РФ № 53998. Ходовая часть трактора [168] (ОПП).	Единая конструкция натяжного колеса с катком, в том числе с надежным уплотнением, препятствующим попаданию радиоактивной пыли внутрь катка.
14	Патент РФ на полезную модель № 65011. Силовое отделение трактора [173] (серийное производство, в т.ч. для всех тракторов ЧТЗ типа Т11, Т13, Т14).	Боковые створки капота выполнены под изготовление из пластика, который не образует вторичного ГИ. Удобный доступ к МТУ, отдельная створка для быстрой замены фильтров воздухоочистителя двигателя (являющихся после набора пыли с РЗМ источником ГИ).

Таблица 6.9 (продолжение)

1	2	3
15	<p>Патент РФ на промобразец № 68095. Гусеничный трактор [176] (два варианта) (серийное производство – трактора Т11, Т12, Т13, Т14, ОПП – трактор Т8).</p>	<p>Формообразующие внешние панели выполнены под изготовление из пластика. Пластик не образует вторичного ГИ. Откидываемая кабина. Большие легко откидываемые панели капота обеспечивают большой и легкий доступ в подкапотное пространство (экономия времени только на открытие - закрытие этих панелей не менее 20мин, по сравнению с тракторами типа Т10, в т.ч. при наборе дозы облучения обслуживающим персоналом при ремонте).</p>
16	<p>Патент РФ № 72454. Балансирная подвеска гусеничных тележек к раме трактора [190] (ОПП, введено в ЧТД специальных машин).</p>	<p>Увеличение проходимости, за счет увеличенной прокачки тележек ходовой части и их надежного крепления</p>
17	<p>Патент РФ № 83466. Тележка ходовой части гусеничной машины, приспособленная под размещение инструмента [177] (ОПП).</p>	<p>Инструмент находится в закрытом отсеке на раме тележки, с формой крышки отсека по форме защитного кожуха рамы тележки. При этом радиоактивная пыль и грязь не попадает внутрь и не скапливается снаружи отсека.</p>
18	<p>Патент РФ № 92844 Гусеничный трактор с электромеханической трансмиссией [179] (изготовление опытного образца).</p>	<p>Простая компоновочная схема трактора с электротрансмиссией, с автоматическим регулированием тягово-скоростных показателей, повышенной надежности, приспособленная под дистанционное управление.</p>
19	<p>Патент РФ № 108399. Ходовая часть трактора с торсионной подвеской [181] (опытные образцы).</p>	<p>Быстроходный трактор (повышение производительности за счет более быстрых перемещений между объектами на РЗМ своим ходом) с ходовой частью под высокую нагрузку, дешевле комплекта ходовой части тракторов ДЭТ на 30...40%.</p>

Таблица 6.9 (окончание)

1	2	3
20	Патент РФ на промобразец № 112849. Промышленный трактор с защитой от стрелкового оборудования [187] (ОПП, введено в ЧТД на серийное производство).	Конструкция позволяет использовать изготовление из защитных панелей и установку свинцовистых стекол простой формы. Обратный поток (и место забора) воздуха в разы уменьшает попадание радиоактивной пыли внутрь капота.
21	Патент РФ № 115318. Ходовая часть гусеничной машины с торсионной подвеской [182] (опытные образцы).	Быстроходный трактор (повышение производительности за счет более быстрых перемещений между объектами на РЗМ своим ходом) с ходовой частью под высокую нагрузку, с противосходами.
22	Патент РФ № 135610. Рама тележки гусеничного промышленного трактора [183] (опытные образцы, чертежи по НИОКР)	Тележки повышенной прочности (с точки зрения обычных нагрузок и возможной установки ПРЗ), при минимальной массе.
23	Патент РФ на изобретение № 2235033. Ведущее колесо гусеничной машины [191] (серийное производство, все трактора ЧТЗ).	Повышение надежности крепления ведущего колеса, работа с высокой нагрузкой (в т.ч. с увеличенной тягой за счет реализации массы ПРЗ).
24	Патент РФ № 182104. Бронированный трактор с рабочим оборудованием [186] (ОПП, введено в ЧТД на серийное производство).	Уменьшенное поступление радиоактивной пыли внутрь капота, использование специальной откидываемой крышки на капоте для воздуха при работе с большой нагрузкой или высоких температурах окружающего воздуха.
25	Патент РФ № 194336. Силовое отделение бронированного трактора [192] (ОПП, введено в ЧТД на серийное производство).	Забор воздуха из наименее запыленной зоны, легко перекрываемой от радиоактивной пыли специальными сетками. Обратный поток (и место забора) воздуха в разы уменьшает попадание радиоактивной пыли внутрь капота.
26	Методика испытаний ПРЗ (и параметры метода) с использованием однородного изотропного плоского гамма-облучателя.	Позволяет быстро и качественно определять в свинцовой защите толщиной до 60 мм все дефекты глубиной свыше 3...5 мм (подробнее раздел 5.1.3).

**Таблица 6.10 (начало)**

*Внедрение результатов диссертации в производство машин с ПРЗ на РЗМ (основные внедрения)*

Машина	Внедрено	Организация разработчик	Предприятие изготовитель	Состояние внедрения
1	2	3	4	5
БА и БРА ДЗ-171.1КЗ (класс 10).	Базовые и внешние параметры на максимальный уровень ПРЗ, расчет, конструкция и технология изготовления ПРЗ и машины в целом, методика испытаний ПРЗ.	ГСКБ ЧТЗ, расчет ПРЗ – НИИСтали, ГСКБ-2 ЧТЗ	ЧТЗ	ОПП, ЧТД - серийн. пр-во. Были приняты на снабжение подразделений МО СССР (приказ ГК СВ МО СССР №72 от 15.06.90).
БА и БРА ДЗ-132-1КЗ (класс 25).		ГСКБ-2 ЧТЗ, расчет ПРЗ – НИИСтали, ГСКБ-2 ЧТЗ	ЧТЗ	
Трактора Т-130/Т-170 с ПРЗ и агрегаты на их базе.	Базовые и внешние параметры, предложения по получению максимального уровня ПРЗ у конкретных машин.	ГСКБ ЧТЗ (базовое шасси, предложения по ПРЗ), ЧЗК – машина в целом, НИИСтали – расчет ПРЗ	ЧТЗ, ЧЗК	ОПП 1986...1992гг
Радиоуправляемые трактора (с ПРЗ блоков управления) Т-130МС, Т10Г6, ДЭТ-250М2С и агрегатов на их базе Т-130МС (МСАДУ), Т10.32-8/9, БРА ДЭТ-250М2СБ1Р1.	Расчет, параметры и конструкция ПРЗ блоков управления (под требования работы на конкретной РЗМ).	ГСКБ ЧТЗ (головной разработчик), ГСКБ-2 ЧТЗ (по ПРЗ), НИИИТ (г. Челябинск), ЦНИИКА (г. Москва), НПО «КИТ» (г. Киев), «Автоприбор» (г. Октябрьский) и др.	ЧТЗ	ОПП Трактор Т10.32-8 был принят к использованию инженерн. войсками МО СССР (решение № 113-12-90, В/ч 52684).

**Таблица 6.10 (продолжение)**

*Внедрение результатов диссертации в производство машин с ПРЗ на РЗМ (основные внедрения)*

1	2	3	4	5
Трактора Т-170, Т10...Т15, БРА на их базе с ПРЗ и под установку ПРЗ в местах эксплуатации,	В машинах с доработкой: расчет эффективности для конкретной РЗМ, базовые и внешние параметры, тяговая характеристика, параметры рабочего оборудования, конструкция и технология изготовления ПРЗ и машины в целом, методика испытаний ПРЗ.	ГСКБ ЧТЗ, ГСКБ-2 ЧТЗ, КБ по спецтехнике ЧТЗ	ЧТЗ, установка ПРЗ в местах эксплуатации – ГК «Росатом»	ОПП и единичные образцы, в том числе с доработкой базовой машины, ЧТД базовой машины - серийн. пр-во  1986...2020гг
Полноразмерные макетные образцы КГМ с ПРЗ и БПРЗ (по заказу МО РФ).	Базовые и внешние параметры, конструкция изготовления ПРЗ и элементов машины в целом, методика испытаний ПРЗ.	ЧТЗ, НИИСтали, испытания: НИИСтали, ЧТЗ, РФЯЦ НИИТФ.	ЧТЗ	Опытные образцы. Параметры и конструктивные решения использовались при создании ряда военных машин
Изд. 781 и 782 с БПРЗ.	Расчет параметров ПРЗ на РЗМ, компоновка и конструкция ПРЗ (совместно с НИИСтали).	ЧТЗ, НИИСтали	ЧТЗ	Опытные образцы
Броневтомобили Урал-4320/-53234 с БПРЗ.	Расчет эффективности, базовые и внешние параметры, конструкция и технология изготовления защиты.	УралАЗ, ЧТЗ	УралАЗ, ЧТЗ,Стан-комаш-БПРЗ**	Опытные образцы, на их основе - серийная ЧТД и серийное производство



**Таблица 6.10 (окончание)**

*Внедрение результатов диссертации в производство машин с ПРЗ на РЗМ (основные внедрения)*

1	2	3	4	5
ПМГ12.01 (с ПРЗ дистанционного управления).	Базовые и внешние параметры. Расчет, параметры и конструкция ПРЗ блоков управления.	ЧТЗ, ООО «Снег»	ЧТЗ, ООО «Снег»	ПМГ12.01 (с ПРЗ) дистанционного управления  2011...2015гг
БРА Б10М2С, Б12С.5020ЕН с БПРЗ.	Расчет эффективности на РЗМ, базовые и внешние параметры, тяговая характеристика, конструкция и технология изготовления защиты и машины в целом.	КБ по спецтехнике ЧТЗ	ЧТЗ	ОПП, в том числе по Гособорнзаказу МО РФ – 2017г.  2014...2020гг В 2017г, выдан сертификат соответствия №ТС RU С-RU.АД06.В.01121, серия RU №0505970, серийный выпуск, срок действия сертификата до 01.11.2022г)
ПК55С с БПРЗ (по техническим требованиям УНИВ ВС РФ).	Расчет эффективности на РЗМ, базовые и внешние параметры, тяговая характеристика, параметры рабочего оборудования, конструкция и технология изготовления защиты и машины в целом.	КБ по спецтехнике ЧТЗ	ЧТЗ	Опытный образец  2018г

## 6.10. ВЫВОДЫ ПО ШЕСТОЙ ГЛАВЕ

1. С помощью методик, изложенных в главах 2...5, произведена оценка максимально возможного уровня защиты оператора от ГИ РЗМ у конкретных машин. Максимальный уровень ПРЗ КГМ, оборудованной защитной кабиной с одинаковой толщиной стенок – панелей (с минимальным  $V_{вн} = 1,12 \text{ м}^3$ ) от кругового источника ГИ на грунте с  $E_{\gamma} = 0,8 \text{ МэВ}$ :

– для грузового автомобиля на базе Урал-4320 максимальная масса ПРМ составляет 2790кг с уровнем защиты по машине с ПРЗ – 29,7 крат;

– для бульдозера на базе трактора Т-170 максимальная масса ПРМ составляет 5000кг с уровнем защиты по трактору с ПРЗ – 498 крат.

Приводится оценка влияния изменения габаритно-массовых параметров шасси и положения кабины конкретных КГМ на уровень ПРЗ оператора. Для трактора Т10М использование (расчеты по формуле 3.7):

– уширенного базового шасси (больше колея и ширина гусениц) типа Т10М2.6050 увеличивает уровень ПРЗ оператора на 6,5 %;

– большего по габаритам шасси с расположением оператора ближе к геометрическому центру шасси типа Т10МБ, Т12 повышает уровень защиты оператора от ГИ на 17 %.

Для ДЭТ-320 размещение оператора ближе к продольной оси машины приведет к увеличению уровня биологической защиты от ГИ (расчеты по формуле 3.7) до 9 %.

2. Снижение тягового КПД, вызванное смещением центра давлений КГМ в связи с установкой ПРЗ, можно исправить путем изменения передаточного числа трансмиссии.

Определено, что при рассматриваемых условиях:

– бульдозер с ПРЗ на базе трактора Т10 при установке ПРЗ обеспечивает оптимальное удельное тяговое усилие  $\varphi_{k \max} = 0,7$  за счет резерва имеющихся рабочих передач;

– у бульдозера ДЗ-132.1-КЗ (на базе трактора ДЭТ-250М2) при увеличении массы на 6200 кг (за счет установки ПРЗ) для обеспечения диапазона оптимальных тяговых усилий  $\varphi_{Kont} = 0,41 \dots 0,81$  требуется замена передаточного числа трансмиссии с 33,24 до 36,64.

3. Предлагается вариант оценки уровня ПРЗ оператора методом круговых диаграмм, облегчающим решение ряда практических задач по защите оператора.

4. Увеличение параметров отвала при установке ПРЗ, вместе с соответствующим изменением передаточного числа трансмиссии при установке ПРЗ до рационального, обеспечивает значительный рост производительности бульдозера. На грунтах II категории рост производительности бульдозеров составил:

– на базе трактора класса 10 с добавкой массы при установке ПРЗ  $\Delta M_{ПРЗ} = 5500$  кг – прирост производительности 30 %;

– на базе трактора класса 25 с добавкой массы при установке ПРЗ  $\Delta M_{ПРЗ} = 6200$  кг – прирост производительности 34 %.

5. Предложены и обоснованы мероприятия по доработке конструкции КГМ для работы на РЗМ, заключающиеся в компоновке места установки кабины, изготовлению ПРЗ (прежде всего кабины), изменении технических параметров машины из-за установки ПРЗ для повышения эффективности ее работы (производительности...), защиты внутреннего объема машины от попадания радиоактивной пыли и грязи, дезактивации КГМ и т.д.

Разработаны новые конструктивные и технологические решения, позволяющие обеспечить высокие ПРХ кабины и безопасность проведения работ при ее изготовлении.

6. Показано, что для радиоуправляемой техники, работающей на РЗМ, наиболее целесообразно применение электромеханической бесступенчатой трансмиссии с обратной связью между трансмиссией и

двигателем, предложены конкретные варианты изготовления такой техники с ЭМТ.

7. Приведены примеры использования предлагаемых методик для расчета технико-экономической оценки и эффективности работы конкретных КГМ на РЗМ при минимуме исходных данных. Так, для условий реальной РЗМ ( $E\gamma = 0,8 \text{ МэВ}$ ,  $P_0 = 0,15 \text{ мЗв/ч}$ ) получены расчетные значения максимальной эффективности по критерию «эффект – затраты», в сравнении с соответствующей базовой КГМ составляющие:

– для БРА на базе Т10 – 4,75 (максимальная эффективность применения ПРЗ), 5,32 (с дополнительным изменением показателей базового шасси и рабочего оборудования);

– для грузового автомобиля на базе Урал-4320 – 7,10 (с учетом максимальной эффективности применения ПРЗ и изменением показателей базового шасси);

8. Применение результатов диссертационной работы в конструкциях реальных машин только по теме «Ларец» позволило поднять уровень ПРЗ оператора в 1,42 раза (при той же массе ПРЗ) и техническую производительность работы БРА в 1,25 раза, что подтверждено независимыми экспертами (таблица 6.7).

Конкретные предлагаемые рекомендации и основные конструктивные решения для машин с ПРЗ, а также их вклад в повышение эффективности реальных КГМ на РЗМ приведены в таблицах 6.8, 6.9.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработана новая концепция и методология комплексного системного подхода к КГМ для работы на РЗМ, основанные на рассмотрении защиты как подсистемы в системе «РЗМ – машина – оператор», применении новых математических моделей расчета и проектирования, изменении параметров базовой машины в соответствии с установленной ПРЗ, введении оценки использования машины на РЗМ по критерию «эффективность – затраты». По существу разработаны основы выбора параметров и конструкций КГМ с ПРЗ (при минимуме исходных данных), значительно повышающих эффективность машины на РЗМ.

Эффективность машины на РЗМ определяется переменными критериями, элементы которых являются функциями параметров машины и поля ГИ, а задача получения максимальной эффективности в общем виде определяется производительностью, временем работы на РЗМ (уровнем ПРЗ) и приведенными затратами на единицу выполненной работы. Поскольку ПРЗ в основном определяет эффективность КГМ на РЗМ и влияет на другие технические параметры машины, то проектирование таких машин необходимо осуществлять после определения необходимого уровня защиты оператора, а также соответствующего изменения зависящих от этой защиты значений базовых параметров и характеристик (производительности, массово-габаритных, тягово-скоростных и др.).

2. Разработаны новые математические модели и на их базе экспресс-методики оценки уровня защиты оператора от ГИ узлами шасси, рабочего оборудования и конструкцией кабины, позволяющие рассчитать ПРЗ без подробной компоновочной схемы машины (расхождение с расчетом по ГОСТ В 26457 по компоновочной схеме не превышает 10%).

Для оценки влияния узлов шасси на ПРЗ оператора предложены две базовые модели: «автомобиль» и «трактор». Модели учитывают особенности шасси машины (тип ходовой системы, грузоподъемность, габаритно-массовые параметры, место размещения операторов) и

характеристику РЗМ (мощность, энергия и место расположения источника излучения). Получена и подтверждена экспериментально оценка влияния габаритных параметров шасси и места расположения оператора на уровень его защиты. Изменение места положения кабины на шасси колесных машин изменяет ПРЗ оператора от ГИ грунта до 30%, у гусеничных машин до 50%.

Реальное увеличение длины, ширины рабочего оборудования и его удаление от расчетных точек приводит приближенно к линейному росту защиты оператора от ГИ грунта. Предельный уровень ПРЗ оператора для единицы рабочего оборудования КГМ составляет до 1,15 крат.

Математическая модель защитного экрана кабины описывается в виде куба, толщина стенок которого определяется действительным решением уравнения третьей степени и зависит от материала стенок, массы и объема кабины. Уменьшение толщины крыши (толщины ПРЗ) равнозащищенной со всех направлений кабины на 30% позволяет увеличить толщину других защитных стенок на 6%, при этом их кратность ослабления дозы ГИ ( $E\gamma = 0,8 \text{ МэВ}$ ) для рассматриваемых условий повышается в 1,5...2 раза.

3. Смещение ЦМ машины (в связи с установкой ПРЗ) приводит к росту сопротивления движению, уменьшению удельных тяговых усилий и снижению тягового КПД, которые можно исправить путем пропорционального изменения передаточного числа трансмиссии. Теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что для рассматриваемых условий при установке ПРЗ на трактор Т10 оптимальный тяговый КПД  $\varphi_{\text{Конт}} = 0,7$  обеспечивается за счет резерва имеющихся рабочих передач, а на ДЭТ-250М2 для обеспечения  $\varphi_{\text{Конт}} = 0,41...0,81$  требуется замена передаточного числа механической части трансмиссии с 33,24 до 36,64.

Теоретически получены и верифицированы новые значения показателей степени в аналитической зависимости буксования с тяговым КПД для КГМ при значительном смещении ЦМ.

Введен коэффициент эффективности трансмиссии колесной машины, позволяющий определять рациональную колесную формулу проектируемого автомобиля в зависимости от ПРЗ и дорожных условий.

На основе статистической обработки получены новые корреляционные зависимости параметров различного БО (масса, объем, ширина и высота отвалов) разных по классу БА от массы трактора (в том числе при установке ПРЗ).

Использование рациональных передаточных чисел трансмиссии и соответствующих рациональных параметров отвала обеспечивает расчетный рост производительности БА с ПРЗ (при разработке грунтов II категории):

- на базе тракторов классов 10, 15 с МТ и ГМТ при добавке массы ПРЗ  $\Delta M_{\text{ПРЗ}} = 5500\text{кг}$  к общей массе базового агрегата – на 30%;
- на базе тракторов класса 25 с ЭМТ при добавке массы ПРЗ  $\Delta M_{\text{ПРЗ}} = 6200\text{кг}$  – на 34%.

Для оценки влияния ПРЗ на прочностные характеристики гусеничного шасси разработана динамическая математическая модель БА, имитирующая эксплуатацию на РЗМ. Модель отличается учетом влияния ПРЗ на параметры машины и отражает силовое нагружение со стороны рабочих органов и кинематическое возбуждение (колебания) со стороны случайного профиля дороги. Расчет по модели показал, что увеличение массы БА за счет ПРЗ на 25% приводит к росту напряжений в опасных зонах в 1,5 раза и более, напряжения в балансирной балке в зоне контакта с упором в 3...4 раза выше уровня общей напряженности.

4. Экспериментально подтверждены расчетные значения кратности ослабления ГИ оператора узлами БА на базе тракторов Т-170.61, ДЭТ-250М2 и колесных грузовых машин Урал-4320, ЗИЛ-131, ГАЗ-66 с погрешностью до 13% (погрешность измерения до 10%). Экспериментально подтверждена теоретическая оценка зависимости ослабленных зон машины от места расположения кабины на шасси.

Предложено и обосновано применение метода гаммаграфии и плоского гамма-облучателя при экспериментальной проверке уровня и качества изготовления ПРЗ кабины. Совместно с РФЯЦ ВНИИТФ подобраны параметры метода, позволяющие проводить дефектоскопию свинцовой защиты толщиной до 50мм с разрешением дефектов 5 мм.

Эксперимент по оценке производительности подтвердил ее увеличение за счет реализации в тягу массы ПРЗ и соответствующего изменения передаточного числа трансмиссии до рационального (эксперименты проводились без изменения рабочего оборудования):

– для БРА с МТ и ГМТ (на базе тракторов Т10, Т15) с ПРЗ увеличение массы и передаточного числа трансмиссии на 14% повысило производительность на грунтах II категории на 14,5%, за счет увеличения призмы волочения на 24,6%, при снижении рабочей скорости на 11,6%;

– для БРА с ЭМТ с ПРЗ (на базе трактора ДЭТ-250М2) увеличение массы на 5265кг и передаточного числа механической части трансмиссии на 10,2% обеспечило прирост производительности на грунтах II категории с включением отдельных участков III и IV категорий на 19,1%.

Расхождение экспериментальной и расчетной оценок производительности БРА с ПРЗ не превышает 13%.

Полученные зависимости рассмотренных расчетных и реальных параметров отвалов БА имеют высокие значения коэффициента корреляции Пирсона (как правило,  $R^2 \geq 0,9$ ), что подтверждает достаточно точное описание взаимосвязей этих параметров по предлагаемым уравнениям и графикам.

Экспериментальная и теоретическая оценка прочностных характеристик рассмотренных шасси показала сходимость результатов с погрешностью до 9%.

5. Приведены примеры реализации предлагаемых методик для оценки КГМ и выбора их параметров при минимуме исходных данных. Получены расчетные значения параметров КГМ с ПРЗ (конкретные тракторы и



автомобили), в том числе в сравнении с базовой машиной, на различных заданных РЗМ:

- максимально достижимого уровня ПРЗ;
- максимальной эффективности машины.

Расчетные значения увеличения эффективности рассмотренных машин с рациональными параметрами на рассмотренной РЗМ по критерию «эффект – затраты», составляют (в сравнении с базовой КГМ):

- для БРА с ПРЗ на базе трактора Т10 – 4,75 (максимальная эффективность применения ПРЗ) и 5,32 (с дополнительным изменением параметров базового шасси и рабочего оборудования);
- для грузового автомобиля на базе Урал-4320 с ПРЗ – 7,10 (с учетом максимальной эффективности применения ПРЗ и изменением параметров базового шасси).

6. Проведен анализ и даны рекомендации по выбору конкретных базовых шасси для КГМ с ПРЗ. Разработаны новые конструкторско-технологические решения, улучшающие технические характеристики машин, в том числе по защите оператора, повышающие эффективность КГМ, качество и безопасность работ при изготовлении ПРЗ и машины. Основные разработки защищены 33 патентами РФ на изобретения, промышленные образцы и полезные модели.

Полученные практические результаты исследований на стадии предпроектных и проектных работ дают возможность расчетного определения значений основных параметров техники для работы на РЗМ, повышающих эффективность работы КГМ и защиту оператора от ГИ. Разработанные рекомендации сокращают время и материальные затраты на проведение НИР и ОКР при создании КГМ с ПРЗ, ускоряют процесс постановки на производство, освоение новых и совершенствование существующих машин.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арутюнян, Р. В. Системный анализ причин и последствий аварии на АЭС «Фукусима-1». / Р. В. Арутюнян, Л. А. Большов, А. А. Боровой, Е. П. Велихов // Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. – М.: 2018. 408 с.
2. Аварии и катастрофы: Предупреждение и ликвидация последствий: Учебное пособие в 3 книгах. / под ред. К.Е. Кочеткова, В.А. Котляревского, А.В. Забегаева. Книга 1. – М.: АСВ, 1995. 320 с.
3. Аварии и катастрофы: Предупреждение и ликвидация последствий: Учебное пособие в 3 книгах. / под ред. К.Е. Кочеткова, В.А. Котляревского, А.В. Забегаева. Книга 2.– М.: АСВ, 1996. 384 с.
4. Аварии и катастрофы: Предупреждение и ликвидация последствий: Учебное пособие в 3 книгах. / под ред. В.А. Котляревского, А.В. Забегаева / В.А. Котляревский, А.В. Забегаев, А.А. Носач и др. Книга 3. – М.: АСВ, 1998. 416с.
5. Автомобили и шасси КАМАЗ. – Набережные Челны: ОАО «КАМАЗ», 2008. 26 с.
6. Автомобили многоцелевого назначения «Урал» семейства «Мотовоз». Технические условия ТУ 37.165.341–2005. ОАО «Автомобильный завод «Урал», 2005. 75 с.
7. Автомобили «Урал» и спецтехника. – Миасс: ООО «Грузовые автомобили - Группа ГАЗ» – дистрибьютор ОАО «Автомобильный завод «Урал», 2011. 37с.
8. Агейкин, Я.С. Проходимость автомобилей. / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1981. 232 с.
9. Аксенов, П.В. Многоосные автомобили: Теория общих конструктивных решений. / П.В. Аксенов. – М.: Машиностроение, 1989. 280 с.
10. Аксенов, П.В. Критерии для оценки схем. / П.В. Аксенов, Б.Н. Белоусов // Автомобильная промышленность. 1997. № 6. С. 19-21.

11. Аксенов, П.В. Основные принципы анализа и синтеза схем трансмиссии многоосных транспортных средств. / П.В. Аксенов, Б.Н. Белоусов, А.Ф. Стариков // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. – 1998. № 4. С. 88-89.
12. Акт испытаний по определению защитных свойств кабин бульдозеров ДЗ-171.1КЗ и ДЗ-132-1КЗ от гамма-излучения радиоактивно зараженной местности, № 21/01266 – В.Ч. 12093, 1989. 2с.
13. Антонов, А.С. Армейские автомобили. Конструкция и расчет. / А.С. Антонов. – М.: МО СССР, 1970. 542 с.
14. Антонов, А.С. Армейские автомобили. Теория. / А. С. Антонов. – М.: Воениздат, 1979. 526 с.
15. Антонов, Д.А. Теория движения боевых колесных машин / А.Д. Антонов, С.И. Беспалов. – М.: Академия БТВ им. Р.Я. Малиновского, 1993. 385 с.
16. Арав, Б.Л. Повышение эффективности колесных и гусеничных машин совершенствованием и стабилизацией характеристик моторно-трансмиссионных установок: дис. ... доктора технических наук. / Б.Л. Арав. – Челябинск: ЮУрГУ, 2005. 428 с.
17. Багнелл, М.Д. Структурный компонент защиты. / М.Д. Багнелл, У.Р. Плюц. // Патент США №4514640, кл. G21F 3/04. 1985.
18. Балашов, И.В. Противорадиационная защита: вчера, сегодня, завтра. / И.В. Балашов, А.М. Малофеев, М.В. Чистяков, Н.Н. Хазов // Техника и вооружение. 2013. № 3, С. 8-11.
19. Барахтанов, Л.Б. Проходимость автомобиля. / Л.Б. Барахтанов, В.В. Беляков, В.Н. Кравец. – Нижний Новгород: НГТУ, 1996. 200 с.
20. Бархатов, Г.С. Методический подход к оценке подвижности образцов ВАТ. / Г.С. Бархатов // Науч. техн. сб. 21НИИИ МО РФ, 2004. № 1.
21. Батанов, А.Ф. Робототехнические системы для применения в условиях чрезвычайных ситуаций. / А.Ф. Батанов, С.Н. Грицынин, С.В. Муркин // Специальная техника, <http://www.vrsystems.ru>.

22. Барыкин, А.Ю. Основы теории современных дифференциалов. / А.Ю. Барыкин. – Набережные Челны: КамПИ, 2001. 277 с.
23. Беккер, М.Г. Введение в теорию системы "местность-машина". / М.Г. Беккер. – М.: Машиностроение, 1973.
24. Белоусов, Б.Н. Основы теории синтеза общих проектно-конструкторских решений колесных транспортных средств особо большой грузоподъемности: дис. ... доктора технических наук. / Б.Н. Белоусов. – Бронницы: 21 НИИ АТ, 1997.
25. Белоусов, Б.Н. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. Конструкция. Теория. Расчет. / Б.Н. Белоусов, С.Д. Попов.– М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 728 с.
26. Беляков, В. В. Многокритериальная оптимизация в задачах оценки подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем. / В. В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И. Сагунов. – Нижний Новгород: НГТУ, 2001. 269 с.
27. Березин, И.Я. Комплексные расчетно – экспериментальные исследования по обеспечению надежности систем промышленных тракторов. / И.Я. Березин, В.Н. Бондарь, С.А. Гусев и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». 2009. Вып. 13. № 11(144). С. 4-10.
28. Бронированная машина. / С.А. Гусев / М.: ВНИИГПЭ, решение о выдаче авторского свидетельства № R 17779 от 29.11.91.
29. Булатов, В.И. 200 ядерных полигонов СССР. География радиационных катастроф и загрязнений. / В.И. Булатов. – Новосибирск: ЦЭРИС, 1993. 87с.
30. Бульдозеры гусеничные общего назначения. Правила приемки и методы испытаний. Введено 01.07.76. – М.: стандарт, 1975. 29с.
31. Бульдозеры ДЗ-132-1КЗ. Определение качества изготовления отдельных элементов и радиационно защищенной кабины в целом для бульдозера ДЗ-132-1КЗ на специальном облучателе. Методика предварительных испытаний: Отчет №5и/2035.– Челябинск-70: ВНИИТФ, 1992. 15с.

32. Ванцевич, В.В. Мобильные транспортные машины. Взаимодействие со средой функционирования. / В.В. Ванцевич, М.С. Высоцкий, Л.Х. Гилелес. – Минск: Белорусская наука, 1998. 303с.
33. Васильченко, В.Ф. Автомобили и гусеничные машины. Теория эксплуатационных свойств. / В.Ф. Васильченко. Рыбинск: Издание АОТ «РДП» АРП, 2004. 432 с.
34. Васильченко, В.Ф. Военные автомобили. Конструкция и расчёт: учебник для вузов / В.Ф. Васильченко, А.Д. Жолнин, Ю.И. Журихин, и др. Книга 3. Рязанский военный автомобильный институт МО РФ. – М.: Воениздат – ООО ПК «Тигель», Рязань, 2004. 664 с.
35. Васильченко, В.Ф. Военные гусеничные машины. Конструкция и расчёт. Часть II. Ходовая часть, системы управления, жизнеобеспечения и коллективной защиты: учебник для вузов. / В.Ф. Васильченко – Рыбинск: Издание ОАО «РДП», 1998. 448 с.
36. Виноградов, А.В. Защитные характеристики военно-инженерной техники при выполнении задач на радиоактивно зараженной местности и пути снижения дозовых нагрузок на ее экипаж: дис... кандидата технических наук. / А.В. Виноградов. – М.: МО РФ, 1996. 159с.
37. Владимиров В.А. Радиационная и химическая безопасность населения. / Монография / В.А. Владимиров, В.И. Измалков, А.В. Измалков. МЧС России. – М.: Деловой экспресс, 2005. 544 с.
38. Вольская, Н.С. Разработка методов расчета опорно-тяговых характеристик колесных машин по заданным дорожно-грунтовым условиям в районах эксплуатации: автореферат дис. ... доктора технических наук. – М.: 2008.
39. Вонг, Дж. Теория наземных транспортных средств / пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1982. 282 с.
40. Выполнение научных исследований прочности с оценкой вероятности неразрушения несущей системы трактора класса 15: договор с ООО «ЧТЗ-Уралтрак» №39-н/д-805000-129/2002. – М.: ФГУП ГНИИ-НАТИ, 2003. 68с.

41. Вырский, М.Ю. Расчет полей гамма-излучения и защитных характеристик элементов противорадиационной защиты БТТ от гамма-излучения радиоактивно зараженной местности. / М.Ю. Вырский, В.В. Ключев, Е.С. Фрид // Вопросы оборонной техники, 1984. Сер. 6. Вып. 4. С. 23-26.
42. Вязьмин, С.О. Состояние и возможности комплекса программ РОБОТ по расчету трехмерной защиты методом Монте-Карло. / С.О. Вязьмин, Е.В. Класс и др. // Сборник докладов на 6 Всероссийской конференции. – Обнинск: ФЭИ, 1994.
43. Герминтерн, В.И. Оптимизация в задачах проектирования. / В.И. Герминтерн, М.С. Штильман. – М.: Знание, 1982. 64 с.
44. Гинзбург, Ю.В. Промышленные тракторы. / Ю.В. Гинзбург, А.И. Швед, А.П. Парфенов. – М.: Машиностроение, 1986. 292с.
45. Гладов, Г.И. Специальные транспортные средства: проектирование и конструкция: учебник для вузов. / Г.И. Гладов, А.М. Петренко; под ред. Г.И. Гладова. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 320 с.
46. Глушков, В.Ф. Оценка защиты бронетанковой техники от гамма-излучения. / В.Ф. Глушков, А.Б. Милентьев, Ю.А. Мосин и др. // Вестник бронетанковой техники. 1986. №2. С. 24-25.
47. Головачев, Г.И. Методика определения оптимального состава комплектов бронетанкового вооружения общевойсковых формирований на основе математического моделирования их боевого применения. / Г.И. Головачев // Научно-методический сборник МО РФ, ГУП «38НИИ Минобороны России». 2003. №1. С. 23-39.
48. Головачев, Г.И. Методика оценки военно-экономической эффективности вариантов модернизации бронетанкового вооружения. / Г.И. Головачев, В.В. Дулепа, Ю.И. Леоненко // Научно-методический сборник МО РФ, ГУП «38НИИ Минобороны России». 2003. №1. С. 59-71.
49. Горячев, И.В. Проблемы защиты экипажей боевых машин от радиации. / И.В. Горячев. // Зарубежное военное обозрение. 1975. № 11. С.34-38.

50. ГОСТ 7734-61. Автомобили грузовые. Кабины. Рабочее место водителя. Размеры и технические требования.

51. ГОСТ 23734-98. Межгосударственный стандарт. Тракторы промышленные. Методы испытаний. Введено 2000.07.01. – Минск: ИПК. стандартов, 1999. 16с.

52. ГОСТ 25836-83. Тракторы. Виды и программы испытаний. Введено 01.01.85.

53. ГОСТ 26803-86. Тракторы промышленные. Общие технические требования. Введено 01.01.87.

54. ГОСТ 27247-87 (ИСО 7464-83). Машины землеройные. Метод определения тяговой характеристики. Введено 01.01.88. – М.: стандартов, 1987. 13с.

55. ГОСТ 27256-87 (ИСО 7128-83). Машины землеройные. Методы определения размеров машин с рабочим оборудованием. Введено 01.01.88.

56. ГОСТ Р ИСО 3411-99. Машины землеройные. Антропометрические данные операторов и минимальное рабочее пространство вокруг оператора. Введено 2000.07.01. – М.: стандартов, 2000. 11с.

57. ГОСТ 12.2.120. Система стандартов безопасности труда. Кабины и рабочие места операторов тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин. Общие требования безопасности. Введено 10.11.09 – М.: Стандартиформ, 2010. 12с.

58. ГОСТ В 23731-79. Защита экипажей подвижной наземной техники от гамма – излучения радиоактивно зараженной местности. Метод испытания. Введено 01.01.81. – М.: стандартов, 1979. 12с.

59. ГОСТ В 26457-85. Защита экипажей и аппаратуры бронетанковой техники от проникающих излучений ядерного взрыва и радиоактивно зараженной местности. Метод расчета. Введено 01.10.89 – М.: стандартов, 1985. 272с.

60. ГОСТ 8.417–2002. Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. Введено 2003.09.01. – Минск: ИПК. стандартов, 2003. 39с.

61. Гринценко, Д.В. Моделирование дорожного воздействия на транспортные средства. / Д.В. Гринценко, Ю.Н. Нуждов, Р.В. Шаповалов. – М.: ВИ, 1991. 231с.
62. Гришкевич, А. И. Автомобили. Теория. / А.И. Гришкевич – Минск: Высшая школа, 1986. 208 с.
63. Гусев, Н.Г. Защита от излучения протяженных источников. / Н.Г. Гусев, Е.Е. Ковалев, Д.П. Осипов, В.И. Попов. – М.: Госатомиздат, 1961. 287с.
64. Гусев, С.А. Методика расчета параметров противорадиационной защиты оператора: Тезисы докладов на XL научно-технической конференции. / С.А. Гусев. – Челябинск: ЧГАУ, 2000. С. 340-341.
65. Гусев, С.А. Анализ влияния узлов шасси на уровень защиты оператора от гамма-излучения грунта радиоактивно зараженной местности. / С.А. Гусев, Б.М. Позин, И.П. Трояновская // Курган: Вестник Академии транспорта РФ: КГУ, 2001. № 3-4. С. 132-139.
66. Гусев, С.А. Методика расчета основных параметров кабины для машин, работающих на радиоактивно зараженной местности./ С.А. Гусев // Курган: Вестник Академии транспорта РФ, КГУ, 2001. № 3-4. С. 140-151.
67. Гусев, С.А. Определение эффективности использования противорадиационной защиты оператора для машин, работающих на радиоактивно зараженной местности. / С.А. Гусев // Курган: Вестник Академии транспорта РФ, КГУ, 2001. № 3-4. С. 157-161.
68. Гусев, С.А. Особенности конструкции и технологии изготовления кабины с защитой оператора от ионизирующих излучений. / В.Н. Бондарь, С.А. Гусев, Г.П. Ожегов, В.И. Раевский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2003. № 12. С. 45-48.
69. Гусев, С.А. Зависимость уровня противорадиационной защиты кабины от количества и размещения экипажа. / С.А. Гусев // Тюмень: Вестник Уральского межрегионального отделения Российской академии транспорта, 2005. Вып. 5. С. 53-55.
70. Гусев, С.А. К вопросу расчета уровня противорадиационной защиты кабины с разной толщиной стенок. / С.А. Гусев // Тюмень:



Вестник Уральского межрегионального отделения Российской академии транспорта, 2005. Вып. 5. С. 56.

71. Гусев, С.А. Бульдозерно-рыхлительный агрегат на базе трактора Т10М с промежуточной колеей. / С.А. Гусев, В.И. Раевский // Строительные и дорожные машины. 2007. № 6. С. 8-9.

72. Гусев, С.А. Новые гусеничные тракторы и агрегаты производства ООО «ЧТЗ-Уралтрак». / С.А. Гусев // Материалы международной научной конференции: Многоцелевые гусеничные и колесные машины: актуальные проблемы и пути их решения. Челябинск: ЮУрГУ. 2008. С. 29-39.

73. Гусев, С.А. Влияние установки противорадиационной защиты оператора на основные технические параметры гусеничных тракторов и специализированных машин на их базе. / С.А. Гусев // Строительные и дорожные машины. 2009. № 12. С. 8-11.

74. Гусев, С.А. Оптимальные передаточные числа трансмиссии бульдозеров с противорадиационной защитой оператора. / С.А. Гусев // Строительные и дорожные машины. 2010. № 5. С. 22-23.

75. Гусев, С.А. Оценка уровня противорадиационной защиты оператора облучаемой машины методом круговых диаграмм. /С.А. Гусев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2010. № 7. С. 14-15.

76. Гусев, С.А. Математическое выражение зависимости уровня противорадиационной защиты оператора от габаритно-массовых параметров шасси гусеничного трактора. / С.А. Гусев // Новые технологии: Безопасность жизнедеятельности. 2010. № 9 (117). С. 6-11.

77. Гусев, С.А. Оценка эффективности применения техники с противорадиационной защитой оператора на начальном этапе проектирования. / С.А. Гусев // Строительные и дорожные машины. 2010. № 11. С. 15-18.

78. Гусев, С.А. Влияние места установки специальной защитной кабины гусеничного трактора на его использование в радиоактивно зараженной зоне. / С.А. Гусев // Строительные и дорожные машины. 2010. № 12. С. 24-27.

79. Гусев, С.А. Расчет уровня противорадиационной защиты оператора колесных и гусеничных машин при минимуме исходных данных. / С.А. Гусев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2011. № 1. С. 20-23.

80. Гусев, С.А. Экспресс-оценка уровня защиты оператора от гамма-излучения грунта узлами рабочего оборудования колесных и гусеничных машин. / С.А. Гусев, А.В. Пигалов. // Строительные и дорожные машины. 2011. № 3. С.21-25.

81. Гусев, С.А. Влияние изменения параметров рабочего оборудования специальной техники на уровень защиты машиниста от гамма-излучения грунта. / С.А. Гусев, В.Г. Апанасик, А.В. Пигалов // Строительные и дорожные машины. 2011. № 4. С.26-28.

82. Гусев, С.А. Экспериментальные исследования эффективности противорадиационной защиты оператора специальной техники на различных облучателях. / С.А. Гусев // Новые технологии: Безопасность жизнедеятельности. 2011. № 1. С. 4-9.

83. Гусев, С.А. Методика расчета максимально возможного уровня противорадиационной защиты оператора. / С.А. Гусев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2011. № 4. С. 24-26.

84. Гусев, С.А. Особенности расчета технико-экономической оценки грузового АТС, работающего на радиоактивно зараженной местности. / С.А. Гусев, А.В. Пигалов. // Автомобильная промышленность. 2011. № 8. С. 28-31.

85. Гусев, С.А. О дистанционном управлении тракторов и агрегатов на их базе (опыт использования, принципы управления, направления развития). / С.А. Гусев // Вестник академии военных наук. 2011. № 2. С. 70-78.

86. Гусев, С.А. Влияние компоновочной схемы грузового автомобиля на возможный уровень противорадиационной защиты водителя-оператора. / С.А. Гусев, А.В. Пигалов // Вестник академии военных наук. 2011. № 2. С. 78-84.

87. Гусев, С.А. Совершенствование гусеничных и колесных машин с противорадиационной защитой (теория, практика, технико-экономическая оценка): монография. / С.А. Гусев. – Челябинск: Цицеро, 2011. 177 с.

88. Гусев, С.А. Доработка базового шасси колесных и гусеничных машин для работы на радиоактивно зараженной местности. / С.А. Гусев, А.В. Пигалов // Строительные и дорожные машины. 2011. № 11. С. 30-33.

89. Гусев, С.А. Расчетно-экспериментальная оценка производительности тракторных агрегатов с учетом перемещения между объектами своим ходом. / С.А. Гусев. // Строительные и дорожные машины. 2012. № 1. С. 23-25.

90. Гусев, С.А. Техничко-экономическая оценка применения основных параметров КГМ, работающих на радиоактивно зараженной местности с известным уровнем гамма-излучения. / С.А. Гусев // Сборник научно-технических и информационных материалов ОАО «НПК «Уралвагонзавод». вып. № 9. 2012. С. 317-324.

91. Гусев, С.А. Оценка эффективности конструктивных мероприятий совершенствования погрузчика ПК46. / С.А. Гусев, А.В. Бобренов, В.А. Кокорюкин // Строительные и дорожные машины. 2012. № 10. С. 14-16.

92. Гусев, С.А. Предварительный расчет основных параметров машины для работы на радиоактивно зараженной местности и особенности ее конструкции. / С.А. Гусев // Материалы Всероссийской конференции: Танкопром, век XX. Опыт взаимодействия Танкопрома с другими отраслями промышленности, академической и вузовской наукой. г. Нижний Тагил, 2013. С. 227-232.

93. Гусев, С.А. Расчет производительности тракторного агрегата. / С.А. Гусев // Строительные и дорожные машины. 2014. № 1. С. 6-11.

94. Гусев, С.А, Маркетинговые исследования бульдозерных агрегатов на базе гусеничных промышленных тракторов различных тяговых классов. / С.А. Гусев, А.С. Печеркин // Строительные и дорожные машины. 2014. № 9. С. 2-7.

95. Гусев, С.А. Закономерности развития и некоторые основные варианты конструкции броневой и противорадиационной защиты

гусеничных и колесных машин на базе народнохозяйственной техники. / С.А. Гусев // Материалы Всероссийской научно-практической конференции: Танкпром 2, сборник научных статей, Москва, 2014, ОАО «НПК «УВЗ». С. 31-38.

96. Гусев, С.А. Особенности конструкции гусеничных промышленных тракторов. / С.А. Гусев // Строительные и дорожные машины. 2014. № 10. С. 9-15.

97. Гусев, С.А. Выбор бульдозерного оборудования и его основных характеристик для разных классов тракторов. / С.А. Гусев, Р.О. Хайсаров // Строительные и дорожные машины. 2015. № 5. С. 2-7.

98. Гусев, С.А. Основные характеристики бульдозерного оборудования с полусферическим отвалом для разных классов гусеничных тракторов. / С.А. Гусев, Р.О. Хайсаров // Строительные и дорожные машины. 2015. № 6. С. 2-7.

99. Гусев, С.А. Расчет производительности экскаватора: особенности и пути повышения. / С.А. Гусев // Строительные и дорожные машины. 2015. № 10. С. 20-26.

100. Гусев, С.А. Выбор трубоукладчика в зависимости от условий его применения. / С.А. Гусев // Строительные и дорожные машины. 2015. № 11. С. 4-9.

101. Гусев, С.А. Расчет производительности колесного погрузчика. / С.А. Гусев // Строительные и дорожные машины. 2015. № 12. С. 2-8.

102. Гусев, С.А. Выбор параметров прямого отвала в зависимости от массы гусеничного промышленного трактора. / С.А. Гусев // Строительные и дорожные машины. 2016. № 1. С. 6-12.

103. Гусев, С.А. Особенности расчета расхода топлива для экскаваторов в РФ и за рубежом. / С.А. Гусев // Строительные и дорожные машины. 2016. № 7. С. 9-18.

104. Гусев, С.А. Выбор параметров, компоновка и особенности основных систем гусеничных промышленных тракторов. / С.А. Гусев: учебное пособие. Челябинск: Цицерон, 2014. – 312 с.

105. Гусев, С.А. Новая компоновочная схема боевой машины. / С.А. Гусев // Тезисы докладов на всесоюзной конференции молодых ученых и специалистов. – Ленинград: ВНИИТрансмаш. 1988, 1990.
106. Гусев, С.А. Возможная компоновочная схема ВГМ. / С.А. Гусев // Вестник бронетанковой техники. 1989. № 10. С. 5-7.
107. Гусев, С.А. Боевая машина поддержки танков. / С.А. Гусев // Вестник бронетанковой техники. 1991. № 7. С. 47-51.
108. Гусев, С.А. Возможная компоновочная схема танка./ С.А. Гусев // Вестник бронетанковой техники. 1991. № 12. С. 8-13.
109. Гусев, С.А. Проблема создания эффективной техники с противорадиационной защитой оператора и возможные научно-практические пути ее решения. / С.А. Гусев, С.В. Кондаков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение» – 2019. – Т.19, № 3. – С. 33–42.
110. Давыдов, В.К. Системный подход к оценке военно-экономической эффективности танка. / В.К. Давыдов // Научно-методический сборник МО РФ, в/ч № 68054. 1997. № 1. С. 16-23.
111. Докшин, И.В. Какой он современный автомобиль-самосвал? / И.В. Докшин, А.В. Келлер, С.А. Гусев // Строительные и дорожные машины. 2017. № 1. С. 21-29.
112. Журавлев, В.И. Решения уравнения переноса излучений в задачах о плоскопараллельном слое (программа РОЗ-5). / В.Н. Журавлев. – М.: ИПМ АН СССР, 1972. 32с.
113. Забавников, Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. / Н.А. Забавников. – М.: Машиностроение, 1975. 448с.
114. Защита от ионизирующих излучений: физические основы защиты от излучений: защита от излучений ядерно-технических установок: учебник в 2-х томах. / Н.Г. Гусев, В.А. Климанов, В.П. Машкович и др.; под ред. Н. Г. Гусева . 3-е перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. Т. 1, 2. 860с.
115. Защита танков / В.А. Григорян, Е.Г. Юдин, И.И. Терехин и др.; под ред. В.А. Григоряна. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 327 с.

116. Елисеев, А.Н. Обоснование принципов развития перспективных специальных колесных шасси большой грузоподъемности: автореферат дис. ... доктора технических наук. – Москва, 2001.

117. Израэль, Ю.А. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий. / Ю.А. Израэль. – СПб: Прогресс-Погода, 1996. 355 с.

118. Илинич, И.М. Расчет, проектирование и испытание кабин тракторов. / И.М. Илинич, В.В. Никонов, Б.И. Кальченко – М.: Агропромиздат, 1989. 213с.

119. Инструкция по определению экономической эффективности новых строительных, дорожных, мелиоративных машин, противопожарного оборудования, лифтов, изобретений и рационализаторских предложений: в 2 частях: М.: ЦНИИТЭстройдормаш, 1978. 152с.

120. Ипатов, М.И. Проблемы совершенствования технико-экономического анализа на стадиях проектирования автомобиля: автореферат дис. ... доктора технических наук. – М.: 1975. 30 с.

121. Испытания по определению эффективности трактора ДЭТ-250М и Д8 «Катерпиллар»: отчет по НИР №259. – Чебаркуль: УралНИИС НАТИ, 1986. 51с.

122. Исследование и оценка параметров условий труда оператора объектов «Ларец-4»: отчет по НИР, № 3344. – Челябинск: ЧФ НАТИ. 1989. 57с.

123. Исследование и обоснование схемы, параметров ходовой и несущей системы перспективного трактора ЧТЗ: Комплексное исследование нагруженности полуоси рамы тележки и корпуса бортовых фрикционов с анализом силовых потоков: отчет по НИР № 3440. – Челябинск: ЧФ НАТИ, 1990. 85с.

124. Исследование эффективности противорадиационной защиты кабины бульдозера ДЗ-132-1КЗ на гамма-облучателе ВНИИТФ: отчет. – Челябинск 70: ВНИИТФ, 1993. 41с.

125. Исследования функциональных характеристик и рабочих процессов бульдозера-рыхлителя на базе трактора ДЭТ-350: отчет по НИР №337. – Чебаркуль, Челябинская обл.: УралНИИС НАТИ, 1991. 93с.

126. Келлер, А.В. Оценка эффективности методов распределения мощности между ведущими колесами автомобилей многоцелевого назначения. / А.В. Келлер и др. Вестник Академии военных наук № 1(30) – М.: ВИ, 2010 г.

127. Келлер, А.В. Принципы и методы распределения мощности между ведущими колесами автомобильных базовых шасси. / А.В. Келлер, И.А. Мурог. – Челябинск, 2009. 218 с.

128. Келлер, А.В. Повышение эффективности колесных машин на основе оптимального распределения мощности между ведущими колесами. / А.В. Келлер, Г.Д. Драгунов, С.Н. Марченко // Механика и процессы управления. Т. 2. серия Проблемы машиностроения. Труды XXXIV Уральского семинара. – Екатеринбург: РАН, 2004. С. 126-136.

129. Коган, Р.М. Основы гамма - спектрометрии природных сред. / Р.М. Коган, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман. – 3-е, переработанное и дополненное – М.: Энергоатомиздат, 1991. 232с.

130. Козлов, В.С. Методы расчета противорадиационной защиты автомобилей. / В.С. Козлов // В.Ч. 63539: информ. бюл., 1985. № 3. С. 45-49.

131. Козлов, В.С. Повышение защитных свойств гусеничных и колесных машин боевого и специального обеспечения от ионизирующих излучений ядерных взрывов в современном бою: дис ... кандидата технических наук. / В.С. Козлов. – М.: МО СССР, 1988. 162с.

132. Козловская М.А. Обоснование схемы силового привода грузового автомобиля с колесной формулой бхб с учетом особенностей эксплуатации в сельскохозяйственном производстве. / М.А. Козловская, Ю.К. Есеновский - Лашков, Т.Д. Дзоценидзе // Международный технико-экономический журнал. – 2010. – № 4. – С. 81-86.

133. Костенко, Ю.П. Анализ применения БТТ в условиях радиационного заражения. / Ю.П. Костенко // Вестник бронетанковой техники. 1989. № 1. С. 23-26.
134. Костюченко, В.И. Разработка критериев и методов оценки эффективности промышленных тракторов: дис. .... кандидата технических наук. / В.И. Костюченко. – Челябинск: ЮУрГУ, 2000. 294с.
135. Кравец, В.Н. Развитие научных методов проектирования и их реализация с целью совершенствования эксплуатационных свойств колесных машин: дис. ... доктора технических наук. / В.Н. Кравец. – Нижний Новгород: НГТУ, 2004. 396 с.
136. Кремер, Н.Ш. Теория вероятности и математическая статистика: учеб. для вузов / Н.Ш. Кремер. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2003. 543 с .
137. Ксенович, И.П. Ходовая система – почва – урожай. / И.П. Ксенович, В.А. Скотников, М.И. Ляско. – М.: Агропромиздат, 1985. 302 с.
138. Ксенович, И.П. Наземные тягово - транспортные системы: энциклопедия. / И.П. Ксенович, В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман; под редакцией И.П. Ксеновича, 2003. 743 с.
139. Кухтевич, В.И. Защита от проникающей радиации ядерного взрыва. / В.И. Кухтевич, И.В. Горячев, Л.А. Трыков. – М.: Атомиздат, 1970. 190 с.
140. Лабораторно-полевые испытания макетного образца трактора ДЭТ-350 в агрегате с бульдозерно-рыхлительным оборудованием: отчет по НИР №327. – Чебаркуль: УралНИИС НАТИ, 1990. 60с.
141. Ларин, В.В. Методы прогнозирования и повышения опорной проходимости многоосных колесных машин на местности: автореферат дисс. ...доктора технических наук. – М.: МГТУ им Н.Э.Баумана, 2007.
142. Лебедева, К.В. Техника безопасности в металлургии свинца и цинка. / К.В. Лебедева. – М.: Металлургиздат, 1963. 299с.
143. Лефаров, А.Х. Энергонагруженность и надежность дифференциальных механизмов транспортно-тяговых машин. / А.Х. Лефаров, М.С. Высоцкий, В.В. Ванцевич, В.И. Кабанов. – Минск: Навука і тэхніка, 1991. 157 с.



144. Малкин М.А. Улучшение тягово-динамических свойств и топливной экономичности дорожных грузовых автомобилей за счёт вспомогательной системы привода передних колёс. / Малкин М.А., Куликов И.А. // Журнал автомобильных инженеров, 2013. № 5 (82). с. 23-29.

145. Маслов, Г.Г. Методика комплексной оценки эффективности сравниваемых машин. / Г.Г. Маслов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2009. № 10. С.31-33.

146. Машиностроение: энциклопедия: колесные и гусеничные машины. Т. 14-15. / В.Ф. Платонов, В.С. Азаев, Е.Б. Александров и др.; под ред. В.Ф. Платонова. – М.: Машиностроение, 1997. 688 с.

147. Методические указания и нормативно-справочные материалы определения экономического эффекта от мероприятий, направленных на улучшение условий труда и безопасности работы на тракторах и сельскохозяйственных машинах. – М.: Министерство тракторного и сельскохозяйственного машиностроения, 1978. 152с.

148. Методы оценки эффективности полноприводной автомобильной техники; под ред. В.В. Шипилова. – Рязань: ГУП РО «Рязоблтипография», 2005. 144 с.

149. Милентьев, А.Б. Повышение противорадиационных характеристик гусеничных и колесных машин. / А.Б. Милентьев, Е.С. Фрид, В.И. Шашкин // Вестник бронетанковой техники. 1991. № 4. С. 41-43.

150. Наумов, В.Н. Основы теории проходимости транспортных вездеходов. / В.Н. Наумов, Батанов А.Ф., Рождественский Ю.Л. – М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1988. 118 с.

151. Научно-публицистическая монография «Чернобыль: Катастрофа. Подвиг. Уроки и выводы» – М: Интер-весы, 1996. 784 с.

152. Никипелов, Б.В. Радиационная авария на Южном Урале в 1957 г. / Б.В. Никипелов, Г.Н. Романов, Л.А. Булдаков и др. // Атомная энергия. – 1989. Т. 67. Вып. 2. С. 74-84.

153. Никитин, А. В. Совет по аттестации программных средств при Ростехнадзоре. Секция № 3 «Расчеты радиационной защиты и радиационной безопасности». / А.В. Никитин, А.И. Попыкин,

Р.А. Шевченко – Л.: Энергоатомиздат, 2017. 304 с. [http://secnrs.ru/wp-content/uploads/2017/03/radiation\\_safety\\_calculations.pdf](http://secnrs.ru/wp-content/uploads/2017/03/radiation_safety_calculations.pdf).

154. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 и Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72/87. – 3-е переработанное и дополненное – М.: Министерство здравоохранения СССР – М.: Энергоатомиздат, 1988. 159с.

155. Нормы радиационной безопасности (НРБ-96). – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996. 126с.

156. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) и СП 2.6.1. 758-99. – М.: Минздрав России, 2000. 115с.

157. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) и СП 2.6.1.2523-09: утв. Постановлением главного государственного санитарного врача РФ 07.07.09: ввод в действие 2009-09-01. – М.: Минздрав России, 2009. 70с.

158. Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года: концепция федеральной целевой программы. – М.: Сайт ФЦП по радиационной безопасности, 2010. 17с.

159. Опасные ситуации техногенного характера и защита от них. / С.В. Петров, В.А. Макашев: ЭНАС; Москва; 2008. 191 с.

160. Определение уровня защищенности экипажей от гамма-излучения радиоактивно зараженной местности путем проведения испытаний на установке «Имитатор»: типовая методика: отчет № 3130. – М.: ВНИИСтали, 1990. 40с.

161. Отчет о лабораторно-полигонных испытаниях опытных образцов промышленных тракторов Б15: отчет № 7257. – Челябинск: ОАО «ЧТЗ», 2004. 90с.

162. Основные направления совершенствования технологий защитных мероприятий и технической базы по преодолению последствий радиационных аварий на современном этапе». – М.: МЧС России, 2012. 272с.

163. Патент РФ на изобретение № 1782843. Способ изготовления панелей с защитой от радиоактивных излучений. / С.А. Гусев, В.П. Котнов, Г.П. Ожегов, В.И. Раевский. – Оpubл. 23.12.92, бюл. № 47.

164. Патент РФ на изобретение № 2009555. Узел соединения панелей с защитой от радиоактивных излучений. / С.А. Гусев, В.П. Котнов, Г.П. Ожегов, В.И. Раевский. – Оpubл. 15.03.94, бюл. № 5.

165. Патент РФ на изобретение № 2060189. Узел соединения панелей с защитой от радиоактивных излучений. / С.А. Гусев, Г.П. Ожегов, В.И. Раевский. – Оpubл. 20.05.96, бюл. № 14.

166. Патент РФ на изобретение № 2060190. Узел соединения панелей с защитой от радиоактивных излучений. / С.А. Гусев, Г.П. Ожегов, В.И. Раевский. – Оpubл. 20.05.96, бюл. № 14.

167. Патент РФ № 17909. Рама гусеничной машины. / Гусев С.А., Клайн И.М., Раевский В.И. – Оpubл. 10.05.01, бюл. № 13.

168. Патент РФ № 17910. Защитный поддон двигателя гусеничной машины. / Раевский В.И., Гусев С.А. Горяинов В.В. – Оpubл. 10.05.01, бюл. № 13.

169. Патент РФ на изобретение № 2194637. Способ съема и установки защитного поддона колесных и гусеничных машин и устройство для его осуществления. / Раевский В.И., Гусев С.А., Устинов Ю.С. – Оpubл. 20.12.02, бюл. № 35.

170. Патент РФ на изобретение № 2221722. Машинно - тракторный агрегат. / Клайн И.М., Гусев С.А., Гусев Д.А. – Оpubл. 20.01.04, бюл. № 12.

171. Патент РФ на промышленный образец № 56089. Промышленный агрегат. / Мингазов Х.Х., Мицын Г.П., Гусев С.А. и др. – Оpubл. 16.01.05, бюл. № 1.

172. Патент РФ № 53998. Ходовая часть трактора. / Каюков В.К., Гусев С.А. – Оpubл. 10.06.06, бюл. № 16.

173. Патент РФ № 65011. Силовое отделение трактора. / Клайн И.М., Гусев С.А., Стрельников А.Г. – Оpubл. 27.07.07, бюл. № 21.

174. Патент РФ № 66284. Трактор, приспособленный для установки трансмиссий различного типа. / Костюченко В.И., Мицын Г.П., Гусев С.А. и др. – Оpubл. 10.09.07, бюл. № 25.

175. Патент РФ на промышленный образец № 65313. Промышленный трактор. / Мицын Г.П., Гусев С.А., Клайн И.М. и др. – Оpubл. 16.01.08.

176. Патент РФ на промышленный образец № 68095. Гусеничный трактор (два варианта). / Платонов В.М., Мицын Г.П., Гусев С.А. и др. – Оpubл. 16.10.08.

177. Патент РФ № 83466. Тележка ходовой части гусеничной машины, приспособленная под размещение инструмента. / Мицын Г.П., Гусев С.А., Раевский В. И. – Оpubл. 10.06.09, бюл. № 16.

178. Патент РФ на промышленный образец № 72537. Трактор гусеничный. / Клайн И.М., Гусев С.А., Пигалов А.В. – Оpubл. 16.10.09.

179. Патент РФ № 92844. Гусеничный трактор с электрической трансмиссией. / Гусев С.А., Клайн И.М., Раевский В.И. – Оpubл. 10.04.10, бюл. № 10.

180. Патент РФ № 92836. Устройство для откидывания кабины промышленного трактора. / Клайн И.М., Гусев С.А., Мицын Г.П. – Оpubл. 10.04.10, бюл. № 10.

181. Патент РФ № 108399. Ходовая часть трактора с торсионной подвеской. / Гусев С.А., Раевский В.И., Основина О.Х. – Оpubл. 20.09.11, бюл. № 26.

182. Патент РФ № 115318. Ходовая часть гусеничной машины с торсионной подвеской. / Гусев С.А., Раевский В.И., Основина О.Х.– Оpubл. 27.04.12, бюл. № 12.

183. Патент РФ № 135610. Рама тележки гусеничного промышленного трактора. / Гусев С.А., Клайн И.М., Бурков А.В. – Оpubл. 20.12.13, бюл. №35.

184. Патент РФ № 140130. Рама гусеничного промышленного трактора. / Клайн И.М., Гусев С.А., Костюченко В.И. – Оpubл. 27.04.14, бюл. № 12.

185. Патент РФ № 151135. Рама тележки гусеничного промышленного трактора. / Гусев С.А., Клайн И.М., Бурков А.В. – Оpubл. 20.03.15, бюл. № 8.

186. Патент РФ № 182104. Бронированный трактор с рабочим оборудованием. / Гусев С.А., Кирин П.Ф., Раевский В.И. – Оpubл. 03.08.18, бюл. № 8.

187. Патент РФ №112849 на промышленный образец. Промышленный трактор с защитой от стрелкового оружия. / Гусев С. А., Кирин П.Ф., Раевский В.И. – Оpubл. 11.01.19 бюл. № 1.

188. Патент РФ на полезную модель № 34138. Каток гусеничного транспортного средства. / Бутт С.В., Гусев С. А., Каюков В.К. и др. – Оpubл. 27.11.03, бюл. № 33.

189. Патент РФ № 53316. Бульдозер для лесопромышленных работ. / Гусев С. А., Раевский В.И. – Оpubл. 10.05.06, бюл. № 13.

190. Патент РФ № 72454. Балансирная подвеска гусеничных тележек к раме трактора. / Гусев С.А., Каюков В.К. Мицын Г.П., Клайн И.М. – Оpubл. 20.04.08, бюл. №25.

191. Патент РФ на изобретение № 2235033. Ведущее колесо гусеничной машины. / Кокорюкин В.А., Гусев С.А. и др. – Оpubл. 27.08.04.

192. Патент РФ № 194336. Силовое отделение бронированного трактора с системой охлаждения. / Гусев С.А., Кирин П.Ф., Трояновский В.В., Раевский В.И. – Оpubл. 06.12.19, бюл. № 34.

193. Патент РФ на изобретение № 2196290. / Гусев С.А., Раевский В.И., Мейснер П.В. – Оpubл. 10.01.03, бюл. №1.

194. Патент РФ на изобретение № 2196291. / Гусев С.А., Раевский В.И., Мейснер П.В. – Оpubл. 10.01.03, бюл. №1.

195. Патент РФ № 199127. Защитная решетка радиатора бронированной машины / Гусев С.А. – Оpubл. 17.08.20 бюл. № 23.

196. Позин, Б.М. Совершенствование параметров промышленных гусеничных тракторов (теория, эксперимент, внедрение): дис ... доктора технических наук. / Б.М. Позин. – М.: МАДИ, 1991. 63с.

197. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2010 N 40 (ред. от 16.09.2013) "Об утверждении СП2.6.1.2612–10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ–99/2010)" (вместе с "СП 2.6.1.2612–10. ОСПОРБ–99/2010. Санитарные правила и нормативы...") (Зарегистрировано в Минюсте России 11.08.2010 N 18115).

198. Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2015 года: концепция федеральной целевой программы. – М.: Сайт МЧС России, 2010.

199. Протокол эксплуатационных испытаний бульдозера ДЗ-132-1КЗ.– Чебаркуль, Челябинская обл.: УралНИИС, 1989. 59с.

200. Протокол испытаний по определению защитных характеристик кабин бульдозеров ДЗ-110А-2 (ДЗ-171.1КЗ) и ДЗ-132-1 (ДЗ-132-1КЗ) от ГИ: отчет, № 5168. – М.: ВНИИстали, 1990. 39с.

201. Приказ Главнокомандующего сухопутными войсками МО СССР от 15.06.90г. №72: Приложение №2: Состав и основные тактико-технические характеристики бульдозеров с повышенными защитными свойствами кабин ДЗ-171.1КЗ и ДЗ-132-1КЗ. – М.: В.Ч. 52684, 1990. 4с.

202. Применение широкоапертурного источника осколочного гамма-излучения для контроля эффективности противорадиационной защиты кабин бульдозеров ДЗ-132-1КЗ и ДЗ-171-1КЗ разработки ПО «ЧТЗ»: Постановочный отчет. № ПС 92.5094/2. – Челябинск-70: ВНИИТФ, 1992. 41с.

203. Радиоуправляемые бульдозеры моделей D65A/D85A/D155A: проспекты, описания № 145-021-411-12, 155-121-315А. – Токио: Комацу LTD, 1998.

204. Радиоуправляемые одноковшовые погрузчики моделей D55S/D75S. Проспекты – Токио: Комацу LTD, 1998.

205. Ракипов, Т.К. Обоснование выбора типов межосевых связей трехосных автомобилей: автореферат дис. ... кандидата технических наук. / Т.К. Ракипов. – М.: МАМИ, 1990.

206. Расчет на прочность рамы агрегата Б-190 с задним мостом и гидробаками методом конечных элементов с оценкой вероятности нагружения и коэффициентов запаса прочности: отчет № 9459. – М.: НАТИ, 1996. 57 с.

207. Расчет ходовой части трактора ДЭТ-250М: 748-6РР. – Челябинск: ЧТЗ, 1977. 107с.

208. Расчет ходовой части трактора Т-170.61: 50-21-12РР1. – Челябинск: ЧТЗ, 1991. 50с.

209. РД 23.82.2-86. Тракторы промышленные. Методика оценки эксплуатационно-технологических показателей при проведении лабораторно-полевых испытаний. – Введено 19.02.88. – М.: НПО «НАТИ», 1988. 46с.

210. Рекомендации по оборудованию и проверке биологической защиты транспортных, грузоподъемных и других средств, предназначенных для проведения работ по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. – М.: П.Я. В-2652, В.Ч.12093, П.Я. Р-6476, 1986. 33с.

211. Решение об использовании и результаты приемочных испытаний радиоуправляемого трактора Т10.32-8 для инженерных войск МО РФ от 24.12.90г., №113-12-90. – М.: В.Ч. 52684, 1990. 4 с.

212. РМГ 78 – 2005. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения. – Введено 2006.09.01. – М.: Стандартиформ, 2006. 34с.

213. Робототехническое средство (РТС) на базе гусеничного трактора Т10 (бульдозера, погрузчика) для ведения аварийных, неотложно-восстановительных работ в районах «ЧС»: тактико – техническое задание, исх. 40/113-98 от 28.03.98. – Челябинск: ОАО «ЧТЗ», 1998. 15с.

214. Романов, Г.Н. Радиационная авария на ПО «Маяк»: практика контрмер, их эффективность и извлеченные уроки. / Г.Н. Романов //

Вопросы радиационной безопасности. – Россия. Озерск. 1997. № 3. С. 3-17.

215. Романов, Н.Н. Научные основы и практические методы военно-эксплуатационной оценки автомобильных дорог: дис. ... доктора технических наук. / Н.Н. Романов. – Л., 1990. 387 с.

216. Руководство по радиационной защите для инженеров: в 2-х т. / пер. с англ.: под ред. Д.Л. Бродера, Б.Р. Бергельсона, Ю.А. Егорова и др. Т.1. – М.: Атомиздат, 1972. 424с.

217. Русанов, О.А. Методы оценки прочности несущих систем тракторов: автореферат дис. .... кандидата технических наук. / О.А. Русанов. – М.: МГИУ, 2002. 19с.

218. Русанов, О.А. Расчетный анализ напряженного состояния и оценка прочности несущих систем тракторов: дис. ... доктора технических наук. / О.А. Русанов. – М.: МГИУ, 2009. 347 с.

219. РЭО СВ-80. Руководство по эргономическому обеспечению создания военной техники сухопутных войск. Введено 01.01.82.– М.: МО СССР, 1981. 240с.

220. Самсонов, В.А. Оценка эффективности и сравнение тракторов при проектировании и модернизации. / В.А. Самсонов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2006. №3 С. 11-16.

221. Сиразетдинов, Т.К. Методы решения многокритериальных задач синтеза технических систем. / Т.К. Сиразетдинов. – М.: Машиностроение, 1988. 160с.

222. Система общих технических требований к видам вооружения и военной техники. Военная автомобильная техника. Автомобили многоцелевого назначения. Общие технические требования. ОТТ 9.1.1-03. 58 с.

223. Система общих технических требований к видам вооружения и военной техники. Военная автомобильная техника. Шасси колесные специальные. Общие технические требования. ОТТ 9.1.3-02. 58 с.

224. Скойбеда, А.Т. Автоматизация ходовых систем колесных машин / А.Т. Скойбеда. – Минск: Наука и техника, 1979. 280 с.



225. Смирнов, Г.А. Теория движения колесных машин / Г.А. Смирнов. - 2-е, переработанное и дополненное – М.: Машиностроение, 1990. 352 с.
226. Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года: концепция федеральной целевой программы – М.: Сайт МЧС России, 2010. 30с.
227. Состояние природной среды в СССР в 1988 году: Межведомственный доклад. / под общей ред. В.Г. Соколовского. – М.: Госкомприрода СССР. Лесная промышленность, 1990. 176 с.
228. Спецтехника для дорожного и коммунального хозяйства / ООО «Грузовые автомобили – Группа ГАЗ» – дистрибьютор ОАО «Автомобильный завод «Урал», 2011. 38 с.
229. Справочник по радиационной безопасности. / В.Ф. Козлов. 4-е, переработанное и дополненное – М.: Энергоатомиздат, 1991. 352с.
230. Сравнительные лабораторно-полевые испытания трактора ДЭТ-350 и зарубежного и отечественного аналогов: Отчет по НИР №353. – Чебаркуль: УралНИИС НАТИ, 1991. 61 с.
231. Сравнительный качественный анализ технического уровня базовых моделей тракторов ООО «ЧТЗ» и зарубежных фирм: Отчет о НИР № 111. – Челябинск: ГосНИИ ПТ, 1997. 423 с.
232. Степанов, Ю.А. Научные основы анализа и синтеза трансмиссий средств подвижности вооружения и военной техники: автореферат дис.... доктора технических наук. – Л.: ВАТТ, 1990.
233. Талевлин, А. Обращение с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом в России. / А. Талевин, В. Серветник, И. Лорензен. С. – Петербург, ПроАтом, <http://www.proatom.ru>, 04.02.2016.
234. Ташлыков, О.Л. Расчетно-экспериментальное исследование гомогенных защит от гамма – излучения. / О.Л. Ташлыков, С.Е. Щеклеин, А.П. Хомяков и др. //Ядерная и радиационная безопасность, 2015, С. 1- 8.
235. Тенденции развития зарубежной военной автомобильной техники – М.: Редакционно-издательский центр МО РФ, 2005. 176 с.

236. Тенденции развития специальных колесных шасси и тягачей военного назначения. Информационно-технический сборник / под редакцией В.А. Полонского. – Бронницы: 21 НИИИ МО РФ, 2007. 417 с.
237. Указания по расчету и проектированию противорадиационной защиты средств инженерного вооружения: машины инженерного вооружения: утверждено МО апрель 1987. Книга 2. – М.: МО СССР, 1988. 132с.
238. Халтурин, В.К. Совершенствование методов обеспечения прочностной надежности несущих систем промышленных тракторов на основе моделирования динамических процессов эксплуатации и накопления усталостных повреждений. / В.К. Халтурин: дисс. ... кандидата технических наук, Челябинск: ЮУрГУ, 2009. 180 с.
239. Хохлов, В.Ф. Метод расчета вариаций функционалов полей излучений при изменении параметров защиты в широких пределах. / В.Ф. Хохлов, П.Н. Шейно // Атомная энергия, 1978. Т. 45. Вып. 2. С. 112-116.
240. Чернобыль: 15 лет спустя / под общ. ред. Н.В. Герасимовой. – М.: Контакт-культура, 2001. 272 с.
241. Челябинский тракторный завод: Каталог продукции 1933-2008 / под редакцией С.А. Гусева, В.С. Мурзина. – Челябинск: ООО «ЧТЗ-Уралтрак». 2008. 105 с.
242. Чудаков, Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / Д.А. Чудаков. изд. 2-е, переработанное и дополненное. – М.: Колос, 1972. 384с.
243. Шалягин, В.Н. Транспортные и транспортно-технологические средства повышенной проходимости. / В.Н. Шалягин. – М.: Агропромиздат, 1986. 186с.
244. Шарипов, В.М. Конструирование и расчет тракторов. / В.М. Шарипов. – М.: Машиностроение, 2004. 592 с.
245. Шасси автомобилей «Урал». / ООО «Грузовые автомобили – Группа ГАЗ» – дистрибьютор ОАО «Автомобильный завод «Урал», 2010. 25с.

246. Шасси и спецтехника для дорожного и коммунального хозяйства/ ООО «Грузовые автомобили – Группа ГАЗ» – дистрибьютор ОАО «Автомобильный завод Урал», 2011. – 38с.

247. Шеховцев, В.В. Совершенствование автотракторных силовых передач на основе анализа и синтеза их динамических характеристик на этапе проектирования: дис. ... доктора технических наук. / В.В. Шеховцев. – Волгоград: ВГТУ, 2004. 399 с.

248. Шухман, С.Б. Теория силового привода колес автомобилей высокой проходимости. / С.Б. Шухман, В.И. Соловьев, Е.И. Прочко; под ред. д.т.н., проф. С.Б. Шухмана – М.: Агробизнесцентр, 2007. 336 с.

249. Щербаков М. В. Роль роботов и робототехнических комплексов при ликвидации радиационной аварии на АЭС Фукусима-1. 2013, 11стр. <http://vokabre.com/media/pdf/2013-02-19-fukushima.pdf>.

250. Яблоков, А.В. Заявление для прессы Государственного советника РФ по экологической политике при Президенте РФ. / А.В. Яблоков // Информационный бюллетень центра общественной информации по атомной энергии (ЦОИ). 1992. № 3. С. 5-8.

251. Ядерная безопасность России: новейшие законодательные и нормативные акты: комментарии, разъяснения. – М.: ЗАО «Библиотечка «Российской газеты»: ГЖО «Воскресенье», 1997. Вып. № 20. 224с.

252. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда. / Н.С. Бабаев, В.Ф. Демин, Л.А. Ильин и др.; под ред. А.П. Александрова 2-е переработанное и дополненное – М.: Энергоатомиздат, 1984. 312с.

253. A study of technology for assembling vehicle endurance reliability. /Ueda Masanori, Haraguchi Makoto, Kasai Akimasa, Nagasaka Yutaka // SAE Techn. Pap. Ser. 1991. № 911924. P.109-120.

254. Braess, H., Seiffert, U. Handbuch Kraftfahrzeugtechnik von Vieweg+Teubner: ATZ/VNZ: Fachbuch. / H. Braess, U.Seiffert.- Vieweg+Teubner Verlag, 2007.

255. Caterpillar: Справочник по эксплуатационным характеристикам: редакция 41. - Пеория, Иллинойс, США: Caterpillar Inc., SRBD 0351-41, 2011. 1464 с.

256. Caterpillar. Проспекты бульдозеров: D6H, D6D, D6R, D7H, D7C, D7R, D7E, D8N, D8H, D8R, D9N, D9R, D10, D10R и др. техники. 1983...2020 гг.

257. Dozer LPS control: T446EN. – Tocio: Topcon Sales Corporation, 2009. 8p.

258. Druckluftanlagen für Nutzfahrzeuge 2: Geräte. Mit ABS / ASR: Technische Unterrichtung (Lernmaterialien) von Robert Bosch GmbH und Horst Bauer von Christiani, Konstanz : ATZ/VNZ - Fachbuch, 1994.

259. Druckluftanlagen für Nutzfahrzeuge 1: Grundlagen, Systeme und Pläne: Mit ABS/ASR und EBS: Technische Unterrichtung von Robert Bosch GmbH und Horst Bauer von Christiani, Konstanz : ATZ/VNZ – Fachbuch, 1998.

260. Engineering compendium on radiation shielding: Volume 1. Shielding fundamentals and methods: Prepared By numerous specialists. / Edited By R.G. Jaeger / E.P. Blizard, A.B. Chilton, M. Grotenhuis and others. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer – Verlag, 1968. 467 p.

261. Crismos, F.W. Modern US military vehicles. / F.W. Crismos. – Ocejla, MBI Publishing, 1998.

262. Hoepke, E., Breuer, S. Nutzfahrzeugtechnik: ATZ/VNZ – Fachbuch / E. Hoepke, S. Breuer. – Vieweg+Teubner, 2008.

263. Jane,S. Military Vehicles and Logistics: Справочное издание по зарубежной технике. / S. Jane. – 2002-2003.

264. Anweiler, K., Blank, R. Die Rad und Kettenfahrzeuge der Bundeswehr 1956 bis heute. / K. Anweiler, R. Blank. Augsburg: Bechtermunz Verlag, 1999.

265. Kathryn McConnell. U.S. Robots Sent to Assist in Japan's Recovery [Электронный ресурс] / Kathryn McConnell – Вашингтон (округ Колумбия): U.S. Department of State, 2011 – URL: <http://iipdigital.usembassy.gov/st/english/article/2011/04/20110406180116nyrhtak0.1105005.html>

266. Komatsu: Specifications and application handbook edition 17, Komatsu LTD, – Japan. Tokyo, 2003. 878 с.

267. Komatsu.: Проспекты бульдозеров: D65A-8, D65E(EX) -12, D65P(PX)-12, D65EX(PX) -15, D85A-21, D155A-5, D275A-2 и др. техники – 1986...2020 гг.

268. Mitschke, M. Dynamik der Kraftfahrzeuge : ATZ/VNZ – Fachbuch / M. Mitschke. 2004.

269. Rahn, F.J. A. Guide to nuclear power technology. / Frank J. Rahn, Achelles G. Adamantiades, Jonh E. Kention, Chaim Braun. – New Vork: John Wiley and sons, 1984. 751 p.

270. Stocmar, J. Das grose Buch der Allradtechnik. / J. Stocmar. – Stuttgart: Motor-Buch Verlag, 2004.

271. The official report of The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission. Executive summary: [англ.]: [архив 25.10.2012] / The National Diet of Japan. – 2012. – 88 p.

272. Swedish robotic technology used to clean Fukushima nuclear plant [Электронный ресурс] / Стокгольм: Husqvarna, 2011. URL: <http://www.husqvarna.com/int/construction/company/newsroom/news-listing/wedish-robotic-technology-used-to-clean-fukushima-nuclear-plant/>

273. Sakai Yasuyuki. Japan's Decline as a Robotics Superpower: Lessons From Fukushima. The Asia-Pacific Journal, Volume 9, Issue 24, No. 2, June 13, 2011. [Электронный ресурс] /. URL: <http://japanfocus.org/-Sakai-Yasuyuki/3546>.

274. ICRP – International Commission on Radiological Protection. Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Annals of the ICRP, 2009. 251 p.

275. UN – United Nations. Effects of radiation on the environment. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II, Scientific Annex E. Effect of ionizing radiation on non-human biota. United Nations, New York, 2011. – 164 p.

276. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Annals ICRP 37(2–4), Elsevier, Amsterdam, 2007. 264 p.

277. IAEA Safety Standards Series No. GSR. Part 3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Vienna, 2011. 303 p.

## Приложение 1 (начало)

Некоторые образцы техники с противорадиационной защитой,  
в которой применены результаты диссертации (подробнее в разделе 6.9)



а



б



в



г



д



е

а – в, е – базовые шасси, БА и БРА (с ПРЗ), на базе тракторов Т-130 (а), Т-170 (б), ДЭТ- 250 (в), Т10М2 / Т12 (е),  
г – робот ПМГ 12.01 (с ПРЗ управления) с возможностью установки различных видов рабочего оборудования;  
д – многоцелевая колесная машина бронированная (МКМБ) на базе фронтального колесного погрузчика ПК55

Приложение 1 (окончание)

Некоторые образцы техники с противорадиационной защитой,  
в которой применены результаты диссертации (подробнее в разделе 6.9)



Ж



З



И

- Ж – изделие 782 (БМПТ – боевая машина поддержки танков);
- З – броневедомитель на базе шасси Урал-4320;
- И – броневедомитель Урал-53234 (первоначально по ТТЗ был грузовым автомобилем для перевозки радиоактивных материалов и грузов)