

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШИН И ЭЛЕМЕНТОВ КОМПОНОВКИ КОЛЕСНЫХ ХОДОВЫХ СИСТЕМ НА ПОКАЗАТЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИХ С ПОЧВОЙ

Г.И. Гедроить, канд. техн. наук, доцент, А.Ф. Безручко, канд. техн. наук, А.В. Матусевич, преподаватель-стажер (БГАТУ)

Аннотация

Приведены результаты аналитических исследований влияния геометрических размеров шин, их деформационных свойств, перекрытия следов колес одного борта машинно-тракторных агрегатов на глубину следа и силу сопротивления качению.

The results of analytical researches of the influence of the geometrical sizes of tires, their deformation properties, overlapping wheel tracks on one side of tractor units to a depth of track and rolling resistance force are given.

Введение

Исследования в области взаимодействия колес с почвой посвящены преимущественно работе единичного колеса. Большой объем исследований процесса взаимодействия с почвой многоосных ходовых систем выполнен школой В.В. Кацыгина. В частности глубоко разработаны теоретические основы деформирования и уплотнения почв многоосными ходовыми системами [1]. Систематизированы варианты деформирования почв под ходовыми системами, предложены аналитические зависимости для расчета показателей взаимодействия при повторных нагрузках на почву, исследовано влияние изменения количества колес ходовой системы на свойства почвы. Учитываются диаметр, ширина, жесткость шин. Зависимости получены для однотипных движителей.

Цель настоящей работы – оценить и проанализировать влияние основных размеров шин (диаметр, посадочный диаметр, ширина и высота профиля, радиус кривизны в поперечной плоскости, радиальная деформация), а также количества колес одного борта машинно-тракторных агрегатов и их взаимного расположения на силу сопротивления качению и глубину следа.

Основная часть

Определить глубину следа и силу сопротивления качению любого колеса многоколесной ходовой системы можно при решении уравнений [2]:

для глубины следа

$$h = \frac{\sigma_0}{K} \times$$

$$\times \operatorname{arth} \frac{G_{nl}}{2b_0\sigma_0\sqrt{(2R-\lambda)\Delta}} \left(\sqrt{\frac{\lambda}{\Delta}-1} + \frac{\lambda}{\Delta} \arcsin \sqrt{\frac{\Delta}{\lambda}} \right) - h_{s1};$$

$$G = \frac{\alpha b_0 \sigma_0^2}{K} \sqrt{\frac{2R-h-\lambda}{\Delta}} \ln \frac{ch \frac{K}{\sigma_0} (h_{s1} + h)}{ch \frac{K}{\sigma_0} h_{s1}} + G_{nl},$$

для силы сопротивления качению

$$P_f = P_{fn} + P_{fu};$$

$$P_{fn} = \frac{2b_0\sigma_0^2}{K} \ln \frac{ch \frac{K}{\sigma_0} (h_{s1} + h)}{ch \frac{K}{\sigma_0} h_{s1}};$$

$$P_{fu} = K_u B_k \lambda,$$

где h – глубина следа, м;

σ_0 – несущая способность почвы, Н/м²;

K – коэффициент объемного смятия почвы k , приведенный к размерам колеса, Н/м³;

$2b_0$ – ширина беговой дорожки шины, м;

Δ – стрела дуги протектора (высота беговой дорожки шины), м;

λ – радиальная деформация шины, м;

R – свободный радиус колеса, м;

h_{s1} – средняя остаточная глубина следа от предшествующих колес, м;

α – расчетный коэффициент;

G – нормальная нагрузка на колесо, Н;

G_{nl} – часть нагрузки, воспринимаемая в плоской части контакта шины с почвой, Н;

P_f – сила сопротивления качению колеса, Н;

P_{fn} – составляющая силы сопротивления качению из-за деформации почвы, Н;

P_{fu} – составляющая силы сопротивления качению из-за деформации шины, Н;

B_k – ширина плоской зоны контакта шины с почвой, Н;

$K_{ш}$ – давление шины на дорогу при нулевом значении давления воздуха в шине, Н/м².

Модель построена исходя из предпосылки, что поверхность контакта шины с почвой представляет собой усеченный эллиптический параболоид, а распределение нормальных давлений в контакте подчиняется закону гиперболического тангенса [3]. Более подробно методика, а также частные случаи, изложены в литературных источниках [2, 4].

Как следует из приведенной выше модели, значения силы сопротивления качению и параметров следа зависят от ряда факторов. Оценим степень влияния конструктивных параметров шин и элементов компоновки ходовых систем на показатели взаимодействия колесных ходовых систем с почвой, так как через эти факторы можно наиболее активно влиять на результат взаимодействия.

На рис. 1...5 приведены расчетные зависимости влияния конструктивных параметров шин на глубину следа и силу сопротивления качению. В качестве исходного варианта приняты размеры, соответствующие шине 22/70-20: диаметр $D = 1,3$ м; стрела дуги протектора $\Delta = 0,07$ м; высота профиля шины $H = 0,396$ м; ширина профиля шины $B = 0,560$ м; допустимая деформация шины $[\lambda] = 0,089$ м; ширина беговой дорожки шины $2b_0 = 0,46$ м; посадочный диаметр шины $d = 0,508$ м. Расчет проведен для случая качения колес по слежавшейся пахоте ($k = 10 \cdot 10^7$ Н/м³, $\sigma_0 = 8,6 \cdot 10^5$ Н/м²) при нагрузке на колесо 30 кН.

Увеличение ширины профиля шины (рис. 1) при постоянном значении стрелы дуги протектора Δ , равном 0,07 м, позволяет уменьшить и глубину следа, и силу сопротивления качению. Например, увеличение ширины профиля шины B в два раза (с 600 до 1200 мм) приводит к снижению глубины следа и силы сопротивления качению примерно в 1,35...1,4 раза. В то же время увеличение ширины шины при одновременном увеличении стрелы дуги проектора по закономерности $\Delta/B = 0,13 = \text{const}$ незначительно влияет на максимальную глубину следа уже при $B > 600$ мм. Средняя глубина следа h_{cp} при этом продолжает снижаться. Такой характер кривых объясняется тем, что при росте значений стрелы дуги проектора де-

формация шины меньше этого значения и в сечении следа уменьшается доля плоской зоны контакта. Из-за роста объема деформируемой почвы сила сопротивления качению при этом растет.

Рассмотренный пример показывает существенность влияния кривизны шин в поперечной плоскости на показатели взаимодействия с почвой. Влияние кривизны проектора, зависящей при постоянной ширине профиля от значений стрелы дуги проектора, показано на рис. 2. Другие размеры шины соответствуют исходному варианту. Наблюдается близкая к линейной зависимость показателей взаимодействия от значения стрелы дуги протектора Δ . Следовательно, уменьшая кривизну беговой дорожки шины можно значительно снизить силу сопротивления качению колеса и глубину следа при неизменных габаритах шин.

Неоднозначно влияние увеличения диаметра шины (рис. 3). При увеличении диаметра путем повышения высоты профиля шины ($H/B = 0,3...0,9$) происходит существенное снижение P_f и h . Это связано с тем, что при принятой постоянной относительной деформации шины ($\lambda/H = 0,23$) увеличение высоты профиля шины позволяет повысить и абсолютное значение ее деформации, т.е. увеличить размеры пятна контакта и снизить жесткость шины. Если высота профиля не изменяется, а рост диаметра шины происходит из-за увеличения посадочного диаметра, то глубина следа практически остается постоянной, т.к. удлинение пятна контакта при равной деформации шины компенсируется уменьшением приведенного коэффициента объемного смятия почвы, зависящего от размеров колеса.

Как правило, при снижении отношения H/B относительная деформация шины увеличивается. Результаты расчета такого варианта показаны на рис. 4. В данном случае при увеличении высоты профиля шины ($H/B = 0,3...0,9$) пропорционально уменьша-

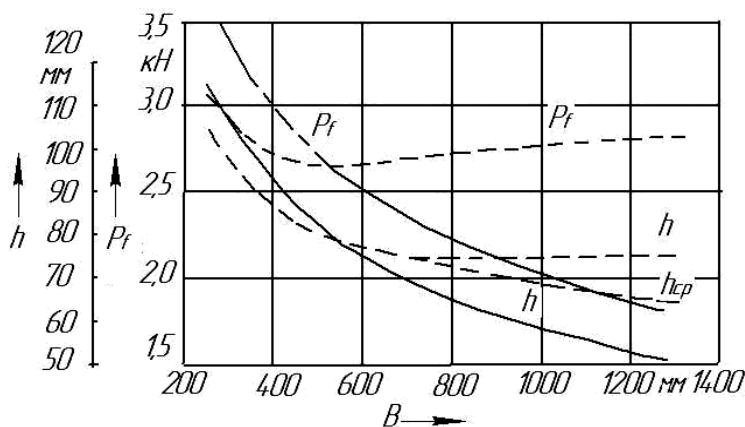


Рисунок 1. Зависимость показателей взаимодействия колеса с почвой от ширины профиля шины: сплошные линии – $\Delta = \text{const}$; штриховые – $\Delta/B = \text{const}$

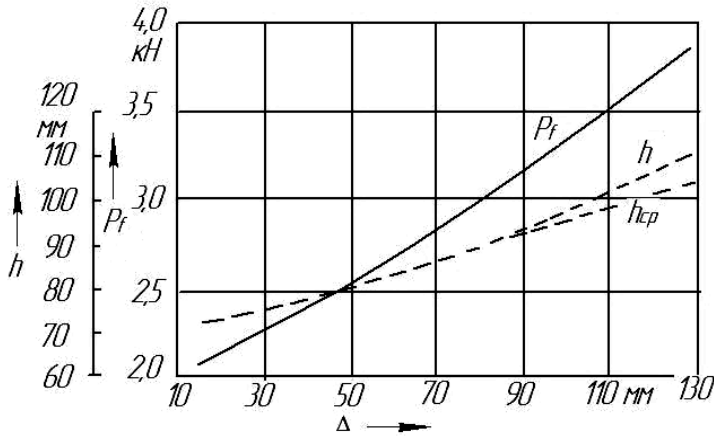


Рисунок 2. Зависимость показателей взаимодействия колеса с почвой от кривизны беговой дорожки шины

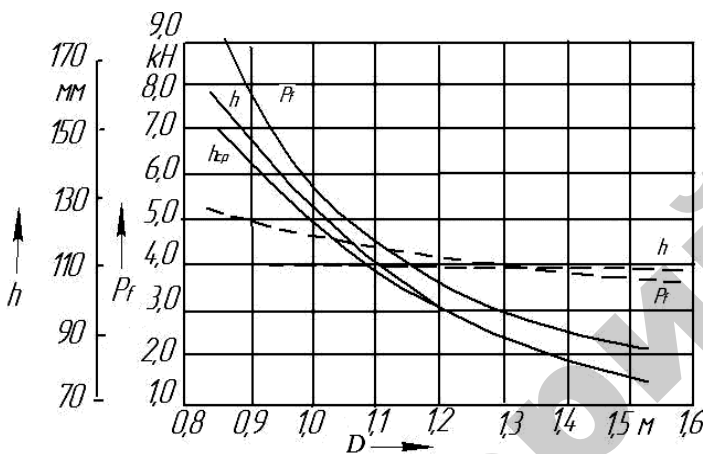


Рисунок 3. Зависимость показателей взаимодействия колеса с почвой от диаметра шины: сплошные линии – увеличение D путем изменения H ($d = \text{const}$); штриховые – увеличение D путем изменения d ($H = \text{const}$)

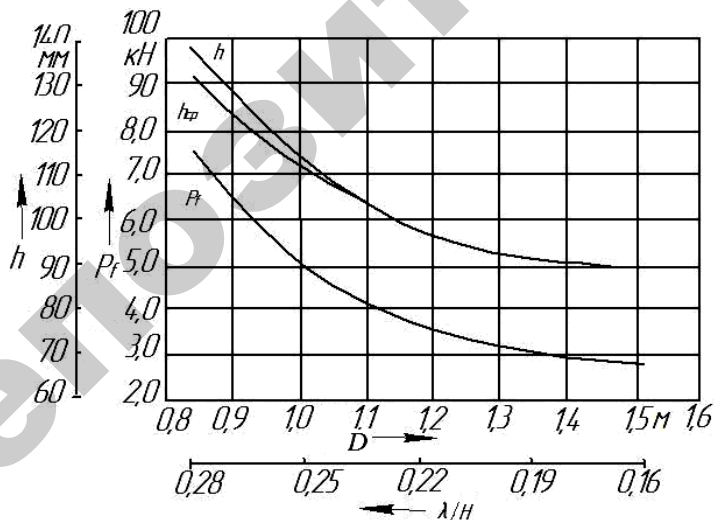


Рисунок 4. Зависимость показателей взаимодействия колеса с почвой от диаметра шины и ее относительной деформации ($d = \text{const}$, $H = \text{var}$, $\lambda/H = \text{var}$)

лась и относительная деформация шины соответственно в пределах 0,28...0,16. Сравнивая полученные результаты с данными рис. 3 (сплошные линии), видим, что интенсивность уменьшения P_f и h в зависимости от диаметра в рассматриваемом случае примерно в 1,4 раза ниже, что указывает на необходимость поиска путей увеличения радиальной деформации шин.

Результат от увеличения относительной деформации шины при постоянных ее размерах (рис. 5) соизмерим с результатом от увеличения габаритов шины. Конструкции известных шин допускают деформацию профиля преимущественно в пределах 0,15...0,30 от его высоты.

При работе сельскохозяйственных агрегатов возможно частичное или полное несовпадение следов трактора и машины. На рис. 6 показано влияние величины смещения колес b на силу сопротивления качению при движении по следу, образуемому таким же колесом. Размеры колес и почвенные условия соответствуют исходному варианту, нагрузка на единичное колесо принята 40 кН. Видно, что при увеличении смещения колес со следа наблюдается рост силы сопротивления качению. Так, при качении одного колеса ($N = 1$) его смещение b на половину ширины B ($b/B = 0,5$) приводит к увеличению силы сопротивления качению в 1,23 раза. При качении системы двух ($N = 2$) и трех ($N = 3$) равных колес абсолютное значение прироста силы сопротивления качению от смещения со следа в этих вариантах отличается незначительно, и выше, чем при качении одного колеса примерно в 1,5 раза. Следовательно, основное увеличение затрат на качение системы колес по следу со смещением происходит из-за деформации дополнительного объема почвы первым смещенным колесом. Глубина следа при смещении колес со следа уменьшается незначительно, а ширина возрастает пропорционально смещению. Приведенные данные подтверждают целесообразность обеспечения совпадения следов трактора и машины.

Нагрузка на колеса современных прицепов, машин для внесения удобрений может быть выше, чем у агрегируемых тракторов, а возможность увеличения диаметра шин машин ограничена по критерию устойчивости. Поэтому с целью снижения давления ходовых систем таких

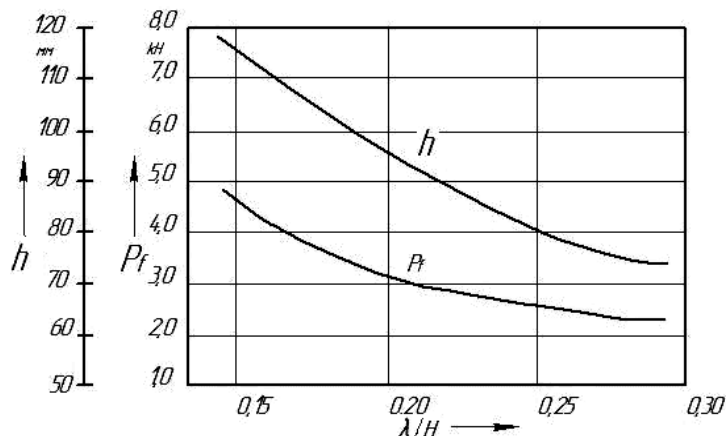


Рисунок 5. Зависимость показателей взаимодействия колеса с почвой от относительной деформации шины ($D = \text{const}$, $d = \text{const}$)

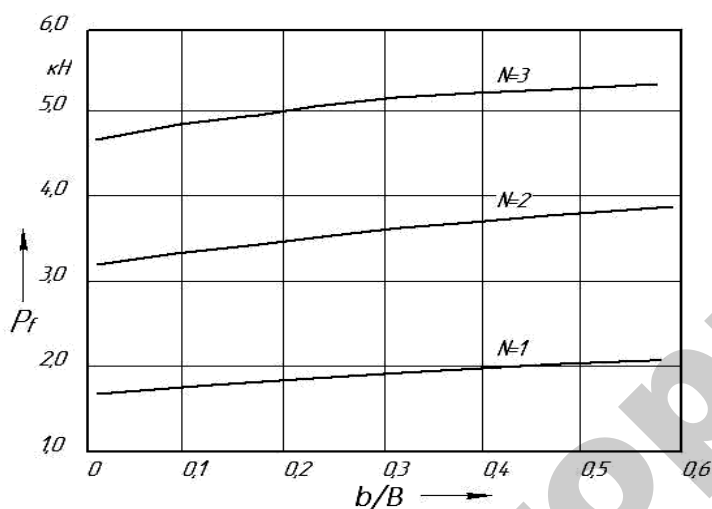


Рисунок 6. Зависимость силы сопротивления качению от смещения колес с предшествующего следа

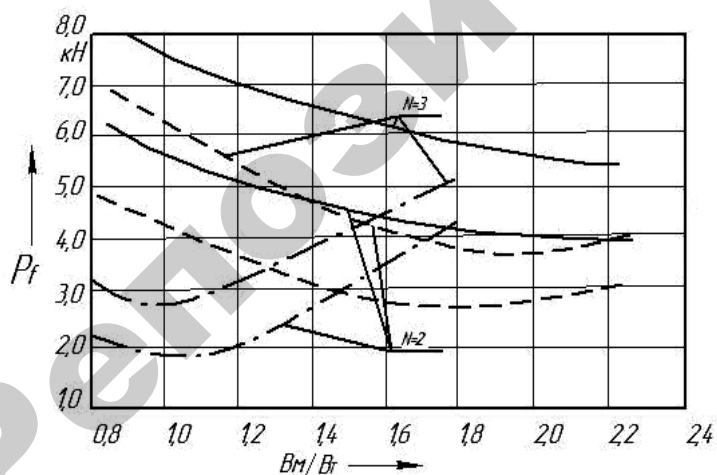


Рисунок 7. Зависимость силы сопротивления качению системы колес от отношения их ширины B_m к ширине предшествующего следа B_t

машин на почву получила распространение установка более широких колес. Оценим изменение показателей взаимодействия ходовых систем с почвой при увеличении ширины шин до значений, превышающих ширину предшествующего следа (рис. 7, 8). Исходные размеры шин, нагрузка на колесо и почвенные условия соответствуют предыдущему примеру. Глубина предшествующего следа задана тремя уровнями: 40 мм (сплошная линия); 80 мм (штриховая линия); 120 мм (штрихпунктирная линия).

Из графиков видно, что в зависимости от параметров предшествующего следа изменяется предел рационального увеличения ширины колес машины по сопротивлению качению. В рассматриваемых условиях при глубине предшествующего следа – 120 мм этот предел наблюдается, если $B_m/B_t = 1$, при 80 мм – если $B_m/B_t = 1,8$. При глубине предшествующего следа – 40 мм, даже когда $B_m/B_t > 2$, минимум силы сопротивления качению колес не достигается, так как общая глубина следа растет. Отметим, что интенсивность уменьшения P_f в этой области заметно падает. Характер кривых при проходе двух ($N = 2$) и трех ($N = 3$) колес аналогичный. Рост силы сопротивления качению системы колес при их уширении отмечается, если почва в предшествующем следе дополнительно не деформируется. Указанные минимальные значения сил сопротивления качению на графиках (рис. 7) находятся правее точек (рис. 8), в которых глубина следов становится постоянной и равна глубине предшествующего следа, что связано с проявлением в этом интервале упругих деформаций почвы. Характер и значения глубины следа после трех проходов колес в основном интервале отношений B_m/B_t незначительно отличаются от показанных на рис. 8.

Заключение

Выполненные аналитические исследования показывают:

- показатели взаимодействия колес с почвой можно существенно улучшить без изменения габаритов шин путем увеличения радиуса кривизны шин в поперечной плоскости и улучшения их деформационных свойств;

- увеличение диаметра и ширины шин может не дать положительного эффекта в полевых условиях, если уменьшаются радиус кривизны беговой дорожки шины и ее деформация;

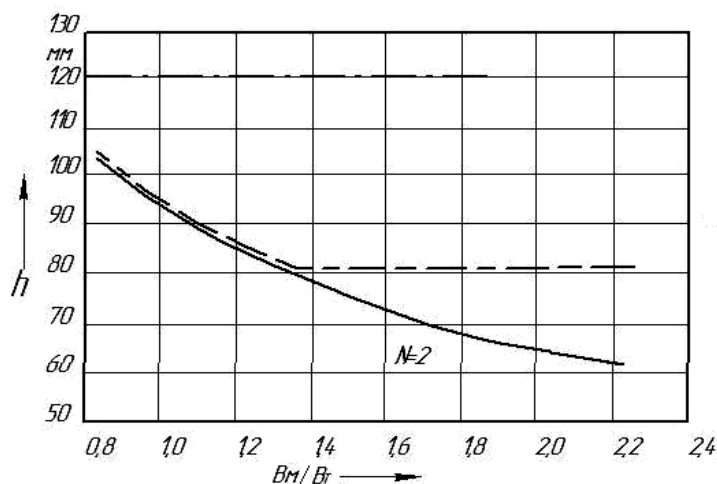


Рисунок 8. Зависимость глубины следа системы колес от отношения их ширины V_m к ширине предшествующего следа V_t

– смещение шин от предшествующего следа нерационально, т.к. наблюдается увеличение силы сопротивления качению и общей ширины следа при несущественном уменьшении его глубины;

– ширина шин агрегируемых машин может быть больше, чем у шин тракторов. Предельной является ширина шин, обеспечивающих работу агрегатов без увеличения глубины следов тракторов.

– при рациональном изменении размеров шин, улучшении их деформационных свойств, правильном согласовании колеи и ширины следов трактора и машины можно достигнуть существенного повышения грузоподъемности современных машин либо снижения тягового класса агрегируемых тракторов благодаря уменьшению сил сопротивления качению машин в полевых условиях при одновременном снижении деформаций почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орда, А.Н. Сопротивление почв / А.Н. Орда. – Мн.: БГАТУ, 2002. – 94 с.
2. Гедроить, Г.И. Взаимодействие с почвой многоколесных ходовых систем / Г.И. Гедроить, А.Г. Гедроить, А.Д. Четчин // Агропанорама, 2012. – № 5. – С. 2-7.
3. Кацыгин, В.В. Основы теории выбора оптимальных параметров сельскохозяйственных машин и орудий / В.В. Кацыгин // Вопросы сельскохозяйственной механики. – Мн.: Урожай, 1964. – Т. 13. – С. 5-147.
4. Гедроить, Г.И. Сопротивление качению ведомых пневматических колес / Г.И. Гедроить // Агропанорама, 2010. – № 1. – С. 26-30.

УДК 629.1.07. 629.114.2

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 13.11.2014

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И МЕТОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ТРАКТОРОВ «БЕЛАРУС»

И.А. Колтович, заместитель главного конструктора (ОАО «Минский тракторный завод»)

Аннотация

В статье рассматриваются методы оценки эффективности тормозной системы, как в составе трактора, так и на испытательном стенде. Приводятся варианты измерительного оборудования, используемые при испытаниях.

In article methods of an estimation of efficiency of brake system both as a part of a tractor, and at the test bed are considered. The variants of the measuring equipment used at tests are resulted.

Введение

Проверка работоспособности и эффективности работы тормозной системы является одним из основных видов испытаний, относящихся к оценке показателей безопасной работы трактора.

Оценка работоспособности и эффективности тормозной системы начинается уже на стадии проектирования трактора, при этом проводится оценка, как в целом системы, так и отдельных ее составляющих (например, привод, фрикционные свойства применяемых тормозных материалов, теплонагруженность

корпусных элементов и т. д.). Отработка конструкции тормозной системы может проводиться, как в составе трактора, так и на различных специальных испытательных стендах.

Как правило, испытания тормозной системы в составе трактора проводятся с использованием стандартных методик, приведенных в Технических Нормативных и Правовых Актах (ТНПА). К таким методикам, где приведены не только методы, но и оцениваемые показатели при испытаниях, можно отнести ГОСТ 12.2.019-2005, ГОСТ 12.002-91, ГОСТ 12.002.3-91 [1],