

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

T.V. Eremina, S.E. Sanzhieva,
T.V. Akharzhanova

PROBABILISTIC EVALUATION OF PROTECTION SYSTEM OF NON-STATIONARY
ELECTRICAL INSTALLATIONS

Еремина Т.В. – д-р техн. наук, доц. каф. экологии, недропользования и безопасности жизнедеятельности Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, г. Улан-Удэ. E-mail: kafedra2017@mail.ru

Санжиева С.Е. – д-р биол. наук, проф. каф. экологии, недропользования и безопасности жизнедеятельности Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, г. Улан-Удэ. E-mail: svegorsan@rambler.ru

Ахаржанова Т.В. – канд. геогр. наук, доц. каф. экологии, недропользования и безопасности жизнедеятельности Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, г. Улан-Удэ. E-mail: touyana@rambler.ru

Eremina T.V. – Dr. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Ecology, Subsurface Use and Health Safety, East Siberian State University of Technologies and Management, Ulan-Ude. E-mail: kafedra2017@mail.ru

Sanzhieva S.E. – Dr. Biol. Sci., Prof., Chair of Ecology, Subsurface Use and Health Safety, East Siberian State University of Technologies and Management, Ulan-Ude. E-mail: svegorsan@rambler.ru

Akharzhanova T.V. – Cand. Geogr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Ecology, Subsurface Use and Health Safety, East Siberian State University of Technologies and Management, Ulan-Ude. E-mail: touyana@rambler.ru

В статье приведен анализ применения нестационарных электроустановок в электрических сетях до 1 000 В с глухозаземленной нейтралью. Отмечено, что выбор средств электрической защиты нестационарных электроустановок осуществляется с учетом анализа системы электроснабжения и возможности использования высокоэффективных средств защиты, а именно устройств защитного отключения. Дан анализ функционирования защитного заземления, с соблюдением соответствующих требований либо к его сопротивлению, либо к напряжению прикосновения в системе ИТ-электроснабжения при эксплуатации передвижной электроустановки и возникновении аварийных режимов. При возникновении однофазного замыкания полный ток замыкания на землю не достигает величины уставки электрозащиты от сверхтока, и в аварийном режиме человек, прикасающийся к корпусу электроустановки, может получить смертельную электротравму, т. е. передвижные электроустановки, оснащенные защит-

ным заземлением, являются электроопасными. Определена вероятность электропоражения человека при работе с нестационарной электроустановкой, оснащенной защитным заземлением. Выполнен анализ эффективности зануления передвижных электроустановок как защитной меры с учетом технических характеристик плавких предохранителей и автоматических выключателей, имеющих более совершенные токовременные характеристики. Указаны недостатки системы защитного зануления нестационарных электроустановок как средства защиты, поскольку высокое требование обеспечения нормируемого времени не реализует в ряде случаев возможность его использования. Приведены уравнения для определения вероятности электропоражения человека с различными исходами при защите с помощью зануления. Дана вероятностная оценка эффективности системы «защитное отключение – зануление» при прямых и косвенных прикосновениях к токоведу-

щим частям стационарных и нестационарных электроустановок.

Ключевые слова: средства электрозащиты, нестационарная электроустановка, электробезопасность, электропоражение, защитное заземление, зануление, устройство защитного отключения, вероятностная оценка, эффективность защитных мер.

The analysis of application of non-stationary electrical installations in electric networks to 1 000 V with dead-earthed neutral is provided in the study. It is noted that the choice of means of electric protection of non-stationary electrical installations is carried out taking into account the analysis of the system of power supply and possibility of use of highly effective means of protection, namely devices of protective shutdown. The analysis of functioning of protective earthing with observance of relevant requirements or to its resistance, or to touch tension in IT power supply system is given at operation of mobile electrical installation and the necessity of emergency operation. At emergence of single-phase short circuit the total current of short circuit on the earth does not reach electric protection setting size from overcurrent, and in emergency operation of the people, touching the electrical installation case can get a fatal electric trauma, i.e. the mobile electrical installations equipped with protective grounding are electrically dangerous. The probability of electroporation of the man is defined during the work with the non-stationary electrical installation equipped with protective earthing. The analysis of efficiency of zeroing of mobile electrical installations as protective measure taking into account technical characteristics of the fuses and automatic switches having more perfect current and time characteristics is made. Shortcomings of the system of protective zeroing of non-stationary electrical installations as means of protection as the high requirement of providing normalized time not fulfilling in some cases the possibility of its use are specified. The equations for the definition of the probability of electroporation of the man with various outcomes at protection by means of zeroing are given. The probabilistic assessment of system effectiveness "protective shutdown – zeroing" is given at straight lines and indirect touches to current carrying parts of stationary and non-stationary electrical installations.

Keywords: means of electrical protection, non-stationary electrical installation, electrical safety, electroporation, protective earthing, zeroing, tripping device, probabilistic assessment, the efficiency of protective measures.

Введение. По мере повышения уровня экономического развития объектов экономики страны, в том числе АПК, совершенствования способов производства, передачи и распределения электроэнергии следует ожидать увеличение темпов роста механизации и автоматизации производственных процессов и расширения применяемого номенклатурного перечня нестационарных электроустановок, ручного электроинструмента и других средств малой механизации, выпускаемых отечественными и зарубежными производителями.

Нестационарные электроустановки входят в класс электроустановок напряжением до 1000 В с глухим заземлением нейтрали, токи замыкания на землю в которых всегда существенно меньше 100 А, однако продолжительность существования замыкания на землю в некоторых случаях может быть значительной (десятки часов). Выбор необходимых средств электрической защиты нестационарных электроустановок должен производиться с учетом анализа системы электроснабжения и возможности использования устройств защитного отключения для обеспечения безопасности установок [1].

Цель исследования: анализ систем защиты нестационарных электроустановок.

Задачи исследования: определение вероятностной оценки эффективности защитного заземления, зануления и системы «защитное отключение – зануление».

Методы и результаты исследования. При решении задач моделирования и оптимизации системы электробезопасности возникает необходимость оценки эффективности защитных мер и изучения общих закономерностей, связанных с функционированием моделируемого объекта. Ниже дана вероятностная оценка эффективности трех видов систем защиты нестационарных электроустановок.

Вероятностная оценка эффективности защитного заземления. Для нестационарных электроустановок, часто меняющих место своего расположения, применение защитного зазем-

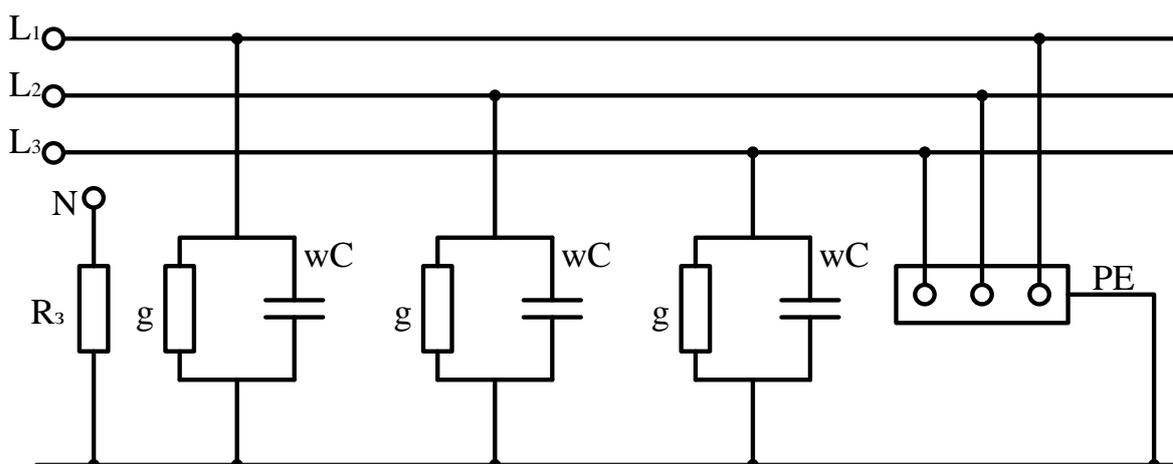
ления не всегда эффективно и сопряжено с определенными трудностями, в первую очередь эксплуатационного характера. Вместе с тем большинство находящихся в эксплуатации данных электроустановок подпадают под требования ПУЭ, предусматривающие применение этой традиционной защитной меры. Так, 7-е издание ПУЭ [2] регламентирует применение защитного заземления в схеме ИТ-электропитания передвижных электроустановок при соблюдении соответствующих требований либо к его сопротивлению, либо к напряжению прикосновения при однофазном замыкании на открытые проводящие части.

В соответствии с ПУЭ электроприемники передвижных электроустановок могут получать питание как от стационарных, так и от передвижных источников электропитания с глухозаземленной или изолированной нейтралью. В этом случае режим нейтрали источника питания должен

соответствовать режиму нейтрали электроприемников передвижных электроустановок. В реальных условиях эксплуатации передвижной электроустановки в системе ИТ-электропитания даже при небольшой протяженности питающей линии между землей и различными токоведущими частями, включая провода, кабели и связанное с ними электрооборудование, имеют активные и емкостные проводимости (рис.).

В уравновешенной трехфазной ИТ-системе, в которой сопротивления между фазными проводниками и землей равны, с каждого фазного провода стекают в землю одинаковые токи утечки. Поскольку активная проводимость (ток утечки через изоляцию) значительно меньше емкостной проводимости, результирующий ток утечки $I_{ут}$ может быть определен по упрощенной формуле:

$$I_{ут} = U_{\phi} \omega C \text{ или } I_{ут} = \frac{1}{\sqrt{3}} U \omega C \quad (R_{ут} \ll \frac{1}{\omega C}). \quad (1)$$



Фрагмент системы ИТ-электропитания передвижной электроустановки

Если между одним из фазных проводов ИТ-системы и землей в результате повреждения изоляции возникает полное замыкание, напряжение между этой фазой и землей практически упадет до нуля. В то же время напряжение двух других фазных проводов в ИТ-системе возрастет до линейного. При возникновении однофазного замыкания полный ток замыкания на землю равен сумме токов утечки неповрежденных фаз и определяется как $I_3 = \sqrt{3} \omega C$. В системе с изолированной нейтралью с фазным напряжением 220 В, имеющей емкость «фаза-земля» 0,3 мкФ (в электроустановках, используемых непосред-

ственно на земле, емкость фазы на землю составляет от десятков до долей микрофард), при замыкании фазного провода на корпус ток замыкания на землю будет равен $I_3 = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot \omega C = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,3 \cdot 10^{-6} = 35,8$ мА. Полученное значение I_3 достаточно мало и не достигает величины уставки электрозащиты от сверхтока. Поэтому такой аварийный режим может оставаться незамеченным достаточно длительное время. В этом случае человек, прикасающийся к корпусу электроустановки, при отсутствии активной меры электрозащиты может получить смертельную электротравму.

Учитывая, что защитное заземление не обеспечивает безопасность человека при прямых прикосновениях к токоведущим частям электроустановки, при рассмотрении ситуаций косвенного прикосновения к корпусу с поврежденной изоляцией или металлическим частям, оказавшимся под напряжением, принято допущение, что данная защитная мера защищает человека только от электротравм с опасными исходами. Тогда вероятность электропоражения будет иметь следующий вид:

$$P(\text{ЭП}) = P(U_{\text{пр}}) \int_{I_0}^{I_{\text{чел}}^{\text{max}}} F_{\text{оп}}(i_{\text{чел}}) f(i_{\text{чел}}) di_{\text{чел}}, \quad (2)$$

где $P(U_{\text{пр}})$ – вероятность попадания человека под напряжение; $F_{\text{оп}}(i_{\text{чел}})$ – функция распределения опасного исхода; $f(i_{\text{чел}})$ – плотность распределения тока через человека.

Напряжение прикосновения может изменяться в широких пределах, от величины потенциала в точке короткого замыкания до значений, равных единиц вольт. Причем величина напряжения прикосновения на теле человека при аварийном режиме электроустановки не должна превышать нормативных значений [3]. Если же не обеспечивается с помощью заземления снижение $U_{\text{пр}}$ до безопасных значений, то в этих условиях не гарантируется благополучный исход электротравм. Таким образом, нестационарные электроустановки, оснащенные защитным заземлением, являются электроопасными [1].

Вероятностная оценка эффективности зануления. В соответствии с требованием ПУЭ для защиты в передвижных электроустановках при косвенном прикосновении предусматривается зануление посредством соединения корпусов оборудования с заземленной нейтралью трансформатора или какого-либо источника электроэнергии с помощью нулевого рабочего или защитного проводника. При этом в случае питания от стационарного источника время отключения устройства защиты от сверхтоков (автоматического выключателя или плавкого предохранителя) для обеспечения электробезопасности, в том числе в групповых цепях, питающих передвижные, переносные электроприемники и ручной электроинструмент класса 1, должно быть не более 0,2 с.

Плавкие предохранители, отличаясь относительной простотой и низкой стоимостью, даже при $K \geq 4$ не обеспечивают безопасность нестационарной электроустановки, так как время срабатывания при этом может составлять несколько десятков секунд [4].

Автоматические выключатели, имеющие более совершенные токовременные характеристики в сравнении с плавкими предохранителями, создают условия для повышения безопасности, что делает их основным видом защитных аппаратов, применяемых в системе зануления. Однако высокое требование обеспечения нормируемого времени не реализуется в ряде случаев возможность использования системы зануления в нестационарных электроустановках. Кроме того, сама система зануления обуславливает появление таких опасных режимов, как вынос потенциала по нулевому проводнику на связанные с ним металлоконструкции при замыкании на корпус стороннего электрооборудования; появление потенциала на корпусах оборудования, вызванного несимметричным режимом в четырехпроводных сетях; возможность электропоражения при несрабатывании электрической защиты, обусловленном обрывом нулевого проводника.

Перечисленные недостатки и повышенные нормативные требования делают бесперспективным использование зануления как меры электрозащиты при эксплуатации нестационарных электроустановок. Однако отказаться от использования в настоящее время самой распространенной системы электрозащиты представляется нецелесообразным даже в свете ужесточенных нормативных требований. Выходом здесь является постепенный переход к современным системам электроснабжения (TN-S, TN-C-S) и использованию устройств защитного отключения [1].

Вероятностную оценку защитных свойств системы зануления при прикосновении человека к токопроводящей части передвижной электроустановки, оказавшейся под напряжением, можно провести, применяя статистический метод моделирования [5]. Используя токовременные характеристики плавких предохранителей или электромагнитных расцепителей автоматических выключателей, не сложно определить дли-

тельность тока через человека, попавшего под напряжение.

Возможны следующие исходы электротравмы: благополучный, при условии, что $I_{чел} < I_{отп}$; опасный, при соотношении: $I_{отп} < I_{чел} < I_{фиб}$; летальный, при условии, что $I_{отп} < I_{чел} \geq I_{фиб}$. Здесь

$I_{отп}$ – отпускающий ток, мА; $I_{фиб}$ – фибрилляционный ток, мА.

Тогда вероятности электропоражения при защите с помощью зануления могут быть определены по выражениям:

– вероятность электропоражения со смертельным исходом

$$P(\text{ЭП})_{\text{см}} = P(U_{\text{пр}}) \int_{I_0}^{I_{\text{чел}}^{\text{max}}} F_{\text{см}}(i_{\text{чел}})_{t_{\text{ср}}} f(i_{\text{чел}}) di_{\text{чел}}, \quad (3)$$

где $F_{\text{см}}(i_{\text{чел}})_{t_{\text{ср}}}$ – функция распределения опасного исхода (смертельного);

– вероятность электропоражения с исходом инвалидности

$$P(\text{ЭП})'_{\text{оп}} = P(U_{\text{пр}}) \int_{I_0}^{I_{\text{чел}}^{\text{max}}} F'_{\text{оп}}(i_{\text{чел}})_{t_{\text{ср}}} f(i_{\text{чел}}) di_{\text{чел}}, \quad (4)$$

где $F'_{\text{оп}}(i_{\text{чел}})_{t_{\text{ср}}}$ – функция распределения опасного исхода (инвалидность);

– вероятность электропоражения с исходом временной потери трудоспособности

$$P(\text{ЭП})''_{\text{оп}} = P(U_{\text{пр}}) \int_{I_0}^{I_{\text{чел}}^{\text{max}}} F''_{\text{оп}}(i_{\text{чел}})_{t_{\text{ср}}} f(i_{\text{чел}}) di_{\text{чел}}, \quad (5)$$

где $F''_{\text{оп}}(i_{\text{чел}})_{t_{\text{ср}}}$ – функция распределения опасного исхода (временная потеря трудоспособности).

Вероятностная оценка эффективности системы «защитное отключение – зануление». Накопленный опыт массового применения устройств защитного отключения [6, 7] показывает, что наиболее перспективным представляется использование при эксплуатации нестационарных электроустановок комбинированной системы «УЗО – зануление», позволяющее одновременно учитывать достоинства каждого из

них. Так, при возникновении травмоопасных ситуаций, связанных с косвенным прикосновением, зануление выступает в качестве дополнительного средства, улучшая условия срабатывания УЗО за счет перехода режима замыкания на корпус в режим короткого замыкания. В этом случае всегда, независимо от величины уставки, гарантируется отключение аварийного участка электроснабжения, а исход электротравмы будет зависеть от длительности срабатывания УЗО:

$$P^{(\text{УЗО, зан})}(\text{ЭП})_{\text{см}} = P(U_{\text{пр}}) \int_{I_0}^{I_{\text{чел}}^{\text{max}}} F_{\text{см}}(i_{\text{чел}})_{t_{\text{ср}}} f(i_{\text{чел}}) di_{\text{чел}}, \quad (6)$$

$$P^{(\text{УЗО, зан})}(\text{ЭП})'_{\text{оп}} = P(U_{\text{пр}}) \int_{I_0}^{I_{\text{чел}}^{\text{max}}} F'_{\text{оп}}(i_{\text{чел}})_{t_{\text{ср}}} f(i_{\text{чел}}) di_{\text{чел}}, \quad (7)$$

$$P^{(\text{УЗО, зан})}(\text{ЭП})''_{\text{оп}} = P(U_{\text{пр}}) \int_{I_0}^{I_{\text{чел}}^{\text{max}}} F''_{\text{оп}}(i_{\text{чел}})_{t_{\text{ср}}} f(i_{\text{чел}}) di_{\text{чел}}. \quad (8)$$

В случае прямого прикосновения к токоведущим частям электроустановки комбинированная система превращается в электрозащиту с

помощью УЗО. В таблице приведены расчетные значения вероятности электропоражения людей с различными исходами.

Значения вероятности возникновения электротравмы с летальным исходом $P(\text{ЭП})$, см

Ток уставки, мА	$t_{\text{ЭП}}=1 \text{ с}$			$t_{\text{ЭП}}=0,05 \text{ с}$			$t_{\text{ЭП}}=0,02 \text{ с}$		
	$P(\text{ЭП})_{\text{см}}$	$P(\text{ЭП})'_{\text{оп}}$	$P(\text{ЭП})''_{\text{оп}}$	$P(\text{ЭП})_{\text{см}}$	$P(\text{ЭП})'_{\text{оп}}$	$P(\text{ЭП})''_{\text{оп}}$	$P(\text{ЭП})_{\text{см}}$	$P(\text{ЭП})'_{\text{оп}}$	$P(\text{ЭП})''_{\text{оп}}$
6	$2,98 \cdot 10^{-6}$	$13,92 \cdot 10^{-6}$	$66,72 \cdot 10^{-6}$	$1,42 \cdot 10^{-6}$	$6,72 \cdot 10^{-6}$	$34,17 \cdot 10^{-6}$	$1,34 \cdot 10^{-6}$	$6,16 \cdot 10^{-6}$	$32,31 \cdot 10^{-6}$
10	$11,35 \cdot 10^{-6}$	$54,48 \cdot 10^{-6}$	$135,12 \cdot 10^{-6}$	$9,09 \cdot 10^{-6}$	$43,21 \cdot 10^{-6}$	$70,75 \cdot 10^{-6}$	$8,38 \cdot 10^{-6}$	$38,54 \cdot 10^{-6}$	$67,16 \cdot 10^{-6}$
15	$14,15 \cdot 10^{-6}$	$105,85 \cdot 10^{-6}$	$688,50 \cdot 10^{-6}$	$12,14 \cdot 10^{-6}$	$88,33 \cdot 10^{-6}$	$451,35 \cdot 10^{-6}$	$11,95 \cdot 10^{-6}$	$86,87 \cdot 10^{-6}$	$394,25 \cdot 10^{-6}$
30	$17,28 \cdot 10^{-6}$	$125,56 \cdot 10^{-6}$	$735,28 \cdot 10^{-6}$	$14,13 \cdot 10^{-6}$	$102,93 \cdot 10^{-6}$	$524,79 \cdot 10^{-6}$	$13,18 \cdot 10^{-6}$	$98,25 \cdot 10^{-6}$	$497,78 \cdot 10^{-6}$
100	$21,57 \cdot 10^{-6}$	$156,95 \cdot 10^{-6}$	$1170,12 \cdot 10^{-6}$	$19,26 \cdot 10^{-6}$	$150,16 \cdot 10^{-6}$	$765,51 \cdot 10^{-6}$	$17,28 \cdot 10^{-6}$	$149,30 \cdot 10^{-6}$	$726,75 \cdot 10^{-6}$
300	$49,84 \cdot 10^{-6}$	$463,54 \cdot 10^{-6}$	$2456,55 \cdot 10^{-6}$	$27,39 \cdot 10^{-6}$	$454,02 \cdot 10^{-6}$	$2315,42 \cdot 10^{-6}$	$26,39 \cdot 10^{-6}$	$452,15 \cdot 10^{-6}$	$2199,25 \cdot 10^{-6}$

Выводы

1. Защитное заземление не обеспечивает безопасность людей при эксплуатации нестационарных электроустановок в сетях с изолированной нейтралью при замыкании фазного провода на корпус (землю), так как ток замыкания во много раз меньше уставки электрозащиты от сверхтока.

2. Сложность реализации требования обеспечения нормируемого времени срабатывания защиты от сверхтока (0,2 с) делает бесперспективным использование зануления как защитной меры при эксплуатации нестационарных электроустановок.

3. Переход к современной системе электропитания (TN-S, TN-C-S) в сочетании с комбинированной защитой «УЗО – зануление», позволяющей одновременно использовать достоинства каждого из них, обеспечивает при сохранении высокой эффективности УЗО надежность его срабатывания.

Литература

1. Еремина Т.В. Основы обеспечения безопасности сельских нестационарных электроустановок: дис. ... д-ра техн. наук. – Барнаул, 2010. – 396 с.
2. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦЭНАС, 2002. – 289 с.
3. ГОСТ 12.1.038-01 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 6 с.

4. Найфельд М.Р. Заземление и другие меры защиты. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – 104 с.
5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высш. шк., 1988. – 479 с.
6. Еремина Т.В., Калинин А.Ф. Выбор эффективной электрозащиты средств малой механизации // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 1. – С. 53–56.
7. Проблемы и перспективы массового применения устройств защитного отключения в России: мат-лы Первого Всерос. науч.-практ. совещания (Барнаул, 2000 г.) // Электричество. – 2001. – № 4. – С. 64–68.

Literatura

1. Eremina T.V. Osnovy obespechenija bezopasnosti sel'skih nestacionarnyh jelektrostanovok: dis. ... d-ra tehn. nauk. – Bar-naul, 2010. – 396 s.
2. Pravila ustrojstva jelektrostanovok. – 7-e izd. – M.: Izd-vo NCJeNAS, 2002. – 289 s.
3. GOST 12.1.038-01 SSBT. Jelektrobezopasnost'. Predel'no dopustimye urovni naprjazhenij prikosnovenija i tokov. – M.: Izd-vo standartov, 2001. – 6 s.
4. Najfel'd M.R. Zazemlenie i drugie mery zashhity. – 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Jenergija, 1975. – 104 s.
5. Gmurman V.E. Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika. – M.: Vyssh. shk., 1988. – 479 s.

6. Eremina T.V., Kalinin A.F. Vybor jeffektivnoj jelektrozashhity sredstv maloj mehanizacii // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 2014. – № 1. – S. 53–56.
7. Problemy i perspektivy massovogo primeneniya ustrojstv zashhitnogo otkljuchenija v Rossii: mat-ly Pervogo Vseros. nauch.-prakt. soveshhanija (Barnaul, 2000 g.) // Jelektrichestvo. – 2001. – № 4. – S. 64–68.



УДК 621.926.327

Д.А. Кривов, Ю.И. Гордеев

**РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДРОБИЛКИ
С ВАЛКАМИ В ФОРМЕ РК-ПРОФИЛЯ**

D.A. Krivov, Yu.I. Gordeev

**THE DEVELOPMENT OF THE SCHEMATIC DIAGRAM OF THE CRUSHER WITH ROLLS
IN THE FORM OF PK-PROFILE**

Кривов Д.А. – ст. преп. каф. общеинженерных дисциплин Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: krivovdm@yandex.ru

Гордеев Ю.И. – канд. техн. наук, доц. конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: tms-mtf@rambler.ru

Krivov D.A. – Asst, Chair of All-Engineering Disciplines, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk. E-mail: krivovdm@yandex.ru

Gordeev Yu.I. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Design-Technology Ensuring of Machine-Building Productions, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: tms-mtf@rambler.ru

В статье представлены результаты исследования возможности повышения интенсивности и надежности процесса дробления за счет выполнения рабочих элементов – валков в форме РК-профиля. Рассмотрены преимущества и недостатки основных типов измельчителей, их кинематико-геометрические характеристики, принципы их работы. В измельчителе с валками в форме РК-профиля при перемещении дробимого материала как минимум в двух координатах реализуется дополнительный эффект перекатывания, благодаря чему эффективность измельчения повышается, существенно снижается вероятность заклинивания крупных кусков материала в щелевом зазоре. Система сил, реализуемая в зоне измельчения между валками в виде РК-профилей, является знакопеременной, циклической по величине и направлению сил, что позволяет повысить интенсивность измель-

чения. Кроме того, за счет особенностей кинематики двух валков происходит совмещение различных механизмов разрушения материала: сжатия, растяжения, истирания, ударного воздействия, постоянного изменения направления измельчающих сил. За счет меньшей площади сечения РК-профиля (в отличие от цилиндрического профиля) уменьшается необходимый крутящий момент электропривода дробилки и одновременно обеспечивается увеличение удельной нагрузки на измельчаемый материал. За счет применения валков в форме РК-профиля снижаются ударные нагрузки на опорные узлы и передаточные механизмы, реализуется новая система сил, позволяющая повысить интенсивность дробления, снижаются затраты на изготовление дробилки. Изменение напряженно-деформированного состояния материала в зоне измельчения между валками в форме РК-профиля, реализация зна-