

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ПО ИЗМЕРЕНИЮ НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

*Дронова Юлия Владимировна* к.э.н., доцент кафедры Производственного менеджмента и экономики энергетики, Новосибирский государственный технический университет, [dronova@corp.nstu.ru](mailto:dronova@corp.nstu.ru), код ORCID: 0000-0003-4954-0385

*Мюльбаер Александр Александрович* ассистент кафедры Техники и электрофизики высоких напряжений, Новосибирский государственный технический университет, [myulbaer@corp.nstu.ru](mailto:myulbaer@corp.nstu.ru), код ORCID: 0000-0001-6653-4935

**Аннотация:** Безопасность персонала предприятий электрических сетей, как в РФ, так и в других странах мира регламентируется большим количеством нормативной документации, что позволяет добиться снижения количества несчастных случаев при проведении работ различного характера. Одной из причин несчастных случаев является работы на воздушных линиях электропередачи под наведенным напряжением. Основными мероприятиями по предотвращению наступления несчастных случаев является составления перечня воздушных линий электропередач, находящихся под наведенным напряжением. В РФ существуют правила определения воздушных линий под наведенным напряжением через измерения, с последующим перерасчетом на наибольший рабочий ток. В НГТУ разработан комплект аппаратуры (ШИН и ШИП), позволяющий выполнять измерения как наведенного напряжения на отключенных проводах других воздушных линий, так и напряжения на опорах отключенной воздушной линии (напряжением прикосновения). Новая аппаратура обладает большим числом достоинств по сравнению с используемыми сегодня

средствами и устройствами. В первую очередь это простота эксплуатации, надежность и экономичность. Использование новых устройств позволяет не только уменьшить число несчастных случаев, что является первоочередной задачей руководства предприятий, но и повысить экономичность проводимых работ.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередач, наведенное напряжение, измерение напряжения, напряжение прикосновения, экономичность нового оборудования, несчастный случай при работах на воздушных линиях.

## TECHNICAL-ECONOMIC SUBSTANTIATION OF DEVICES FOR MEASURING SWAPPING VOLTAGE

*Dronova Yuliya* Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the faculty of power energy, Novosibirsk State Technical University, [dronova@corp.nstu.ru](mailto:dronova@corp.nstu.ru), код ORCID: 0000-0003-4954-0385

*Myulbaer Alexander Alexandrovich* Assistant of the Department of High Voltage Engineering and Electrophysics, Novosibirsk State Technical University, [myulbaer@corp.nstu.ru](mailto:myulbaer@corp.nstu.ru), код ORCID: 0000-0001-6653-4935

**Annotation:** The safety of the personnel of the enterprises of electrical networks, both in the Russian Federation and in other countries of the world, is regulated by a large number of regulatory documents, which makes it possible to reduce the number of accidents during work of a different nature. One of the causes of accidents is work on overhead power lines under induced voltage. The main measures to prevent the occurrence of accidents is the compilation of a list of overhead power lines under voltage induced. In the Russian Federation there are rules for determining overhead lines under induced voltage through measurements, with subsequent recalculation for the highest operating current. The NSTU has developed a set of equipment (SHIN and SHIP) that allows measuring both the induced voltage on the disconnected wires of other overhead lines and the voltage on the supports of the disconnected overhead line (touch voltage). The new equipment has a large number of advantages in comparison with the tools and devices used today. First of all, it's simplicity of operation, reliability and economy. The use of new devices allows not only to reduce the number of accidents, which is a top priority for enterprise management, but also to increase the cost-effectiveness of the work.

**Keywords:** overhead power lines, induced voltage, voltage measurement, touch voltage, economics of new equipment, accident at work on overhead lines.

### Введение

Ежегодно в российской электроэнергетике случается в среднем 2 несчастных случая при работах под наведенным напряжением на воздушных линиях электропередачи (ВЛ). Так в период с 1998 по 2016 года выявлено 34 несчастных случаев, из них 28 с летальным исходом [1]. Основным этапом для обеспечения безопасного проведения работ на ВЛ является составления перечня ВЛ, находящихся под наведенным напряжением. Согласно последним изменениям Правил [2], определять наведенное напряжение на ВЛ допускается только измерениями, с последующим перерасчетом на наибольший рабочий ток.

На сегодняшний день сложилась парадоксальная ситуация: есть нормативный документ, требующий измерение наведенного напряжения на ВЛ, но отсутствуют специализированные измерительные приборы и методики измерения наведенного напряжения. По этой причине при измерениях приходится пользоваться непредназначенными для данных измерений приборами, что приводит только к увеличению травматизма при выполнении измерений, и получению недостоверных результатов. Для

решения данной проблемы были разработаны комплект аппаратуры для измерения значений наведенного напряжения и методика измерения наведенного напряжения с применением данного комплекта.

### 1 Комплект нового оборудования для измерения наведенного напряжения

При выполнении измерений необходимо учитывать, что электромагнитное влияние работающих ВЛ приводит не только к появлению наведенного напряжения на отключенных проводах других ВЛ, но и к возникновению напряжения на опорах отключенной ВЛ (назовем данное напряжение – напряжением прикосновения). Причина появления напряжения прикосновения к опорам – это заземление на них отключенных проводов, находящихся под наведенным напряжением. Заземление отключенных проводов приводит к тому, что с заземлителя опоры будут стекать наведенные токи, вызывающие падение напряжения на сопротивлении заземляющего устройства опоры. По этому для безопасного проведения работ на ВЛ необходимо выполнять измерения не только значения наведенного напряжения на отключенных проводах, но и напряжение прикосновения к опоре.

По этой причине разработанный комплект состоит из двух независимых средств измерений: штанги-измерителя наведенного напряжения (ШИН) и штанги-измерителя напряжения прикосновения (ШИП)

ШИН измеряет действующее значение переменного напряжения в диапазоне от 2 В до 20 кВ, и предназначена для определения значений наведенного напряжения на отключенных проводах и грозозащитных тросах ВЛ. Широкий диапазон измерения и высокое внутреннее сопротивление (40 МОм) позволяет ШИН использовать для измерений наведенных напряжений на заземленных и незаземлённых проводах. Измерения ШИН проводятся с подъемом на опору.

ШИП имеет диапазон измерения от 2 В до 5 кВ действующего значения переменного напряжения. ШИП измеряется напряжение прикосновения к опорам, заземлителям, заземленным передвижным механизмам. Измерения ШИП выполняются с поверхности земли.

### 2 Экономическое обоснование эффективности устройств по измерению наведенного напряжения

Оценка экономического эффекта произведена с помощью общепринятого в мире показателя оценки эффективности инвестиций, а именно интегрального эффекта или чистого дисконтированного дохода (ЧДД) [3, 4, 5]. ЧДД будет складываться из разницы коммерческого эффекта от применения нового комплекта аппаратуры для измерения значений наведенного напряжения и использования действующих аппаратов в соответствии с действующими стандартами РФ.

$$ЧДД = \sum_{t=0}^T [(R^{(t)} - Z_{обс}^{(t)})] \cdot \frac{1}{(1+E)^t} \quad (.1)$$

Здесь  $R^{(t)}$  - коммерческий эффект от применения устройств ШИП и ШИН, входящих в комплект аппаратуры для измерения значений наведенного напряжения, на  $t$ -ом шаге расчета,  $\Delta Z_{обс}^{(t)}$  – разница в затратах на обслуживание вновь вводимых устройств,  $T$  – продолжительность эксплуатации устройств,  $t$  – шаг расчета,  $E$  – ставка дисконта.

В общем случае суммарный системный коммерческий результат  $R^{(t)}$  от применения комплекта аппаратуры для измерения значений наведенного напряжения в энергосистеме определяется несколькими факторами:

- 1 составляющая дохода компании остается неизменной;
- 2 снижаются постоянные затраты связанные:
  - 2.1 с компенсационными выплатами;
  - 2.2 с затратами на техническое обслуживание и ремонт комплекта аппаратуры для измерения значений наведенного напряжения (за счет разницы в стоимостях нового и

старого устройств).

### 3 Оценка экономического эффекта

**Определение компенсационных выплат.** Последствия от случаев поражения электрическим током от наведенного напряжения в соответствии с российским законодательством попадают в категорию несчастных случаев на производстве. В соответствии с федеральным законом РФ № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» [7] плательщиком при наступлении страхового случая является фонд социального страхования РФ (ФСС). Тем не менее, в большинстве энергетических компаний предусмотрены дополнительные компенсационные выплаты пострадавшим работникам или их семьям.

Возможны следующие последствия  $i$  от поражения током при наведенном напряжении:

1. гибель работника,
2. признание работника инвалидом (1, 2 или 3 степени ограничения способности к трудовой деятельности).

В зависимости от тяжести последствий, могут быть произведены различные дополнительные компенсационные выплаты. Для определения компенсационных выплат на основании информации о подтвержденных случаях был составлен портрет среднестатистического работника, подвергающегося риску оказаться пораженным электрическим током от наведенного напряжения, и определена частота несчастных случаев. Это позволило определить затраты на весь период компенсаций, которые составили **701 000 руб. в год.**

**Оценка разницы в стоимости устройств.** Определение разницы в стоимости устройств было выполнено на основе затратного подхода, как величины абсолютной разницы стоимости покупки нового устройства и старого устройства приведенной к одному году и с учетом срока эксплуатации устройств. Для обоснования разницы в стоимости нового комплекта аппаратуры и старого были использованы нормативные документы, действующие на территории РФ [6].

Затраты на используемую в настоящее время аппаратуру для измерения напряжения прикосновения и наведенного напряжения на ВЛ составляют 177 600 руб. в ценах 2016 года и 40 200 руб. для измерения только напряжения прикосновения.

Для расчета стоимости опытного образца использована методика определения стоимости полезной модели по затратам на ее создание [10, 11]. Согласно этой методике стоимость полезной модели или опытного образца, являющейся результатом проведения проектных работ, основывается на определении суммарных затрат на ее создание за все время разработки. Затраты на разработку опытного образца включают в себя:

- стоимость покупных комплектующих изделий, полностью переходящих в стоимость опытных образцов;
- стоимость расходных материалов, малоценных и быстроизнашивающихся предметов, полностью переходящих в стоимость опытных образцов и частично переходящих на стоимость;
- оплата труда;
- накладные затраты в [12].

Сметная стоимость материалов для изготовления устройств ШИН и ШИП в ценах 2016 года составляет: для измерения наведенного напряжения 36870 руб/шт., для измерения напряжения прикосновения 29271 руб/шт. или 66141 руб./комплект.

Был проведен расчет разницы в стоимости нового и старого устройств, результат расчета представлен в таблице 2. Количество комплектов, которое будет приобретено за период обновления инноваций нового устройства (10 лет) принималось равным от 6 до 12, из расчета минимальное число 2 комплекта на один участок предприятия электрических сетей. Срок службы устройства в соответствии с паспортными данными составляет 10 лет.

Наиболее сложным вопросом является определение значения  $k$  – числа измерений в год. Число измерений наведенного напряжения зависит от того, какие изменения будут внесены в стандарты организации по измерению наведенного напряжения или в действующие Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (ПОТЭЭ). Если измерение будет отнесено к обязательной работе, предшествующей основной работе на ВЛ, то  $k$  может достигать несколько сотен измерений в год. На этапе технико-экономического обоснования определить возможное значение  $k$  затруднительно, поэтому было принято значение в диапазоне от 50 до 300 измерений в год, в соответствии с рекомендациями по эксплуатации комплекта аппаратуры на одно устройство.

Таблица 2 – Расчет экономического эффекта от использования комплекта аппаратуры при разном количестве измерений

Количество измерений в год	50	100	150	200	250	300
Разница в стоимости работ руб.	137414	274827	412241	549654	687068	824481
Разница в стоимости устройств, руб. при приобретении:						
6 комплектов	60923	60923	60923	60923	60923	60923
8 комплектов	81230	81230	81230	81230	81230	81230
10 комплектов	101538	101538	101538	101538	101538	101538
12 комплектов	121846	121846	121846	121846	121846	121846
Снижение компенсационных выплат, руб.	701 000	701 000	701 000	701 000	701 000	701 000
Коммерческий эффект $R^{(n)}$ , руб./год при приобретении:						
6 комплектов	899 336	1 036 750	1 174 163	1 311 577	1 448 991	1 586 404
8 комплектов	919 644	1 057 058	1 194 471	1 331 885	1 469 298	1 606 712
10 комплектов	939 952	1 077 365	1 214 779	1 352 192	1 489 606	1 627 019
12 комплектов	960 259	1 097 673	1 235 086	1 372 500	1 509 913	1 647 327

Исходя из практического опыта при переходе от опытного образца к мелкосерийному производству происходит снижение затрат до 20%. В этом случае коммерческий эффект от использования комплекта аппаратуры будет еще выше (таблица 3).

Таблица 3 – Расчет экономического эффекта от использования комплекта аппаратуры при разном количестве измерений при мелкосерийном производстве

Количество измерений в год	50	100	150	200	250	300
Коммерческий эффект $R^{(n)}$ , руб./год при приобретении:						
6 комплектов	911 521	1 048 934	1 186 348	1 323 762	1 461 175	1 598 589
8 комплектов	935 890	1 073 304	1 210 717	1 348 131	1 485 544	1 622 958
10 комплектов	960 259	1 097 673	1 235 086	1 372 500	1 509 913	1 647 327
12 комплектов	984 628	1 122 042	1 259 455	1 396 869	1 534 283	1 671 696

Расчеты подтверждают экономическую эффективность разработанных устройств.

### Список литературы

1. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2013 (с изменениями 2016).

2. Мюльбаер А.А. Анализ причин несчастных случаев при работах на воздушных линиях электропередачи, находящихся под наведенным напряжением // Новое в российской электроэнергетике. 2017. №4. С. 71 – 77.
3. Методические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес –планов в электроэнергетике (с типовыми примерами)»: На стадии инвестиционных предложений (часть 1). На стадии ПредТЭО и ТЭО (часть 2) книги 1,2,. Утверждены Приказом ОАО " РАО ЕЭС России " от 31.03.2008 г. No155 с учетом заключения Главгосэкспертизы России от 26.05.1999 г. No 24-16-1/20-113
4. СТО 56947007-29.240.55.018-2009 Методические указания по определению наведенного напряжения на отключенных воздушных линиях, находящихся вблизи действующих ВЛ
5. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов, утвержденные Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике 21.06.1999 N ВК477
6. СТО 56947007-29.130.15.105-2011 «Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок
7. Федеральный закон от 24 июля 1998 г. N 125-ФЗ "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний" (с изменениями и дополнениями)
8. Обзор травматизма в отрасли. Общероссийское отраслевое объединение работодателей электроэнергетики (Объединение РаЭл)
9. Электротравматизм в российской энергетике (2000—2009 гг.) Источник: <http://www.elec.ru/analytics/elektrotvamatizm-v-rossijskoj-energetike-20002009/>
10. Карпова Н.Н., Азгальдов Г.Г.. «Оценка нематериальных активов и интеллектуальной собственности». Издание Финансовой Академии при Правительстве РФ, Москва, 1998г., стр.168-169
11. МДС 81-35.2004 Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации.
12. МДС 81-33.2004 Методические указания по определению величины накладных расходов в строительстве (с Изменениями и Дополнениями)