

## К МЕТОДИКЕ ВЫБОРА КОМПЕНСИРУЮЩЕЙ ЕМКОСТИ В СИСТЕМЕ ОБОСТРЕНИЯ

А. Ф. УСОВ

*Представлена научным семинаром кафедры Т В Н*

За последнее время в различных областях техники нашло широкое применение использование генераторов импульсного напряжения для генерирования ударных волн в жидкой среде и твердых диэлектриках для целей разрушения твердых тел, кинетики химических реакций, протекающих обычно при высоких давлениях и температурах, штамповки, обработки поковок и других технологических операций (1—7).

По данным большинства опубликованных работ рабочие напряжения генераторов составляют десятки киловольт, а емкости генераторов «в ударе» — единицы и даже десятки микрофард. Необходимость в этом вызвана стремлением увеличить запасаемую в конденсаторах энергию, определяющую развиваемую в канале пробоя мощность.

Значительное увеличение мощности в разряде и скорости ее нарастания может быть получено при использовании генераторов импульсного напряжения на сотни киловольт при емкости генераторов в несколько десятков тысяч пикофард. Возможность использования рабочих напряжений в сотни киловольт обусловлена тем, что при временах воздействия импульса напряжения порядка  $10^{-7}$  сек пробивная напряженность даже для крайне неоднородных полей составляет сотни  $кв/см$  (8). В однородных полях величина  $E_{пр}$  для воды при таких временах воздействия по данным (9) может составлять даже  $2 мв/см$ . Однако при оценке возможности применения генераторов с рабочим напряжением в сотни киловольт необходимо учитывать, что в многоступенчатом исполнении такие генераторы обладают паразитной индуктивностью разрядного контура в десятки микрогенри, то есть при использовании в качестве жидкой среды воды или электролита будут иметь место значительные потери энергии. Значительные потери энергии и низкий коэффициент использования разрядного контура будут иметь место и при канализации энергии через кабель, волновое сопротивление которого из условия максимальной мощности должно быть по возможности меньшим, то есть порядка  $50—100 ом$ .

Проведенный нами ранее анализ показал необходимость применения специальных схем обострения импульса напряжения, лучшей

из которых является схема обострения со значительной компенсирующей емкостью (10). Там же нами изложена методика выбора величины компенсирующей емкости по максимальной развиваемой в канале пробоя мощности и максимальному выделению энергии за первую четверть периода тока.

Ниже излагается методика выбора компенсирующей емкости по максимальному коэффициенту использования разрядного контура.

Общий коэффициент использования разрядного контура —  $\kappa_p$  определяется произведением коэффициента использования контура генератор — компенсирующая емкость —  $\kappa'_p$  и коэффициента использования контура компенсирующая емкость — нагрузка  $\kappa''_p$ . Без учета демпферного сопротивления шаровых разрядников генератора

$\kappa'_p = \frac{2}{1+k}$ , где  $k = \frac{C_{об}}{C_{уб}}$  — коэффициент соотношения компенсирующей емкости и емкости генератора «в ударе». С достаточной для практического применения точностью  $\kappa'_p$  может быть рассчитан как для контура  $C_{об} - L_{об} - R_n$ ,

где

$C_{об}$  — компенсирующая емкость,

$L_{об}$  — паразитная индуктивность контура обострения,

$R_n$  — сопротивление нагрузки или волновое сопротивление кабеля.

При введенном параметре  $\beta = \frac{C_{уд}}{C_{кр}}$  ( $C_{кр} = \frac{4L}{R^2}$  — значение компенсирующей емкости, соответствующее границе аperiodичности) имеем:

$$\kappa''_p = \frac{2}{\sqrt{1 - \frac{1}{\beta k}}} \exp \left[ - \frac{\ln \left( 2\beta k - 1 + 2\beta k \sqrt{1 - \frac{1}{\beta k}} \right)}{2 \sqrt{1 - \frac{1}{\beta k}}} \right] \cdot \operatorname{sh} \frac{\ln \left( 2\beta k - 1 + 2\beta k \sqrt{1 - \frac{1}{\beta k}} \right)}{2} \quad (1)$$

при  $\beta k > 1$  и

$$\kappa''_p = \frac{2}{\sqrt{\frac{1}{\beta k} - 1}} \exp \left[ \frac{\operatorname{arctg} \sqrt{\frac{1}{\beta k} - 1}}{\sqrt{\frac{1}{\beta k} - 1}} \right] \sin \left( \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{1}{\beta k} - 1} \right), \quad (2)$$

при  $\beta k < 1$ .

Номограмма коэффициента использования разрядного контура генератора с обострением приведена на рис. 1.

Условие оптимального соотношения параметров  $\beta$  и  $k$  определяется при  $\frac{dk_p}{dk} = 0$ .

$$\frac{\operatorname{arctg} \sqrt{\frac{1}{\beta k} - 1}}{\sqrt{\frac{1}{\beta k} - 1}} = \frac{1 - k + 2\beta k^2}{1 + k}, \quad (3)$$

при  $\beta k < 1$  и

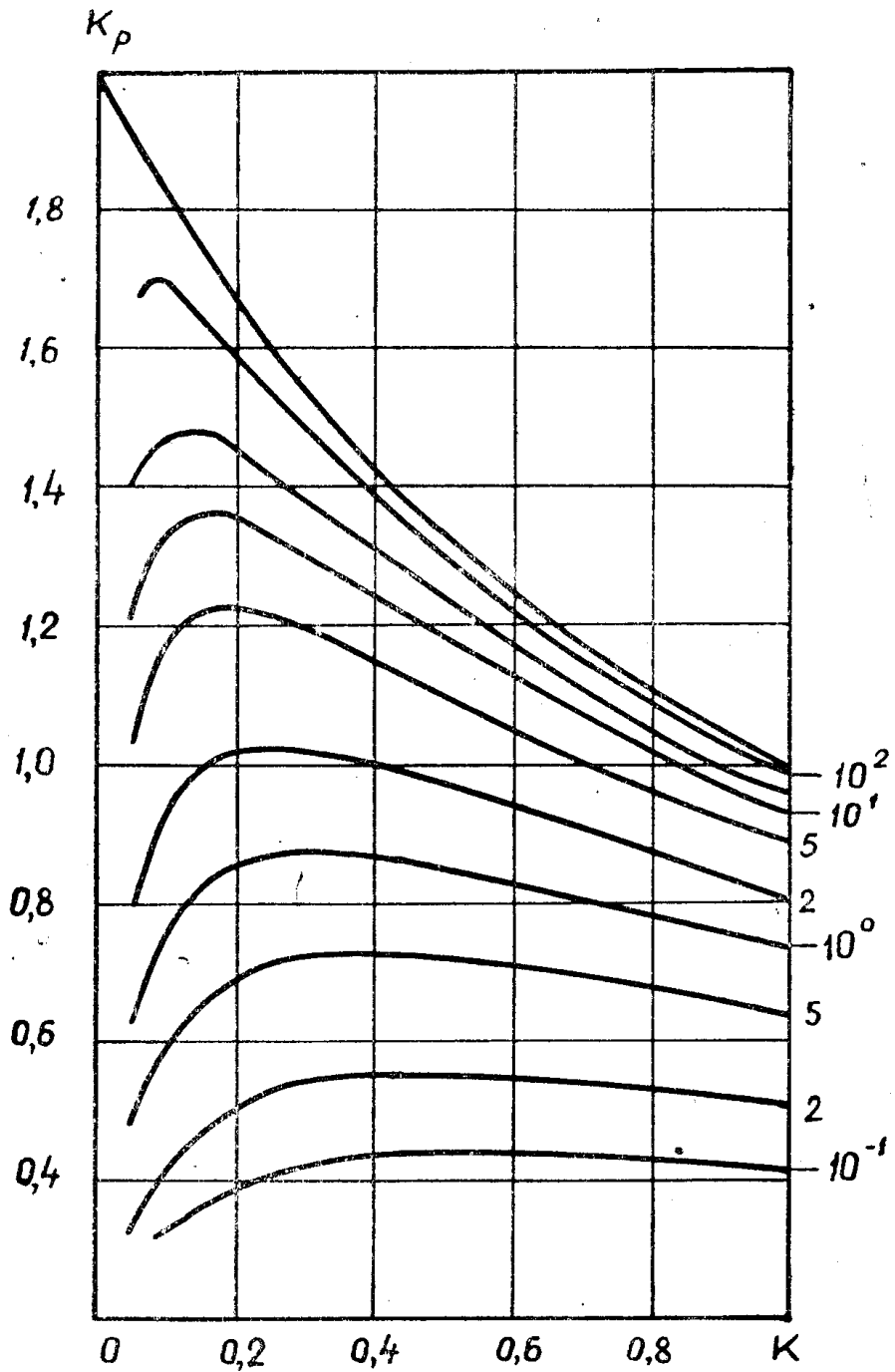


Рис. 1. Номограмма коэффициента использования разрядного контура в схеме обострения.

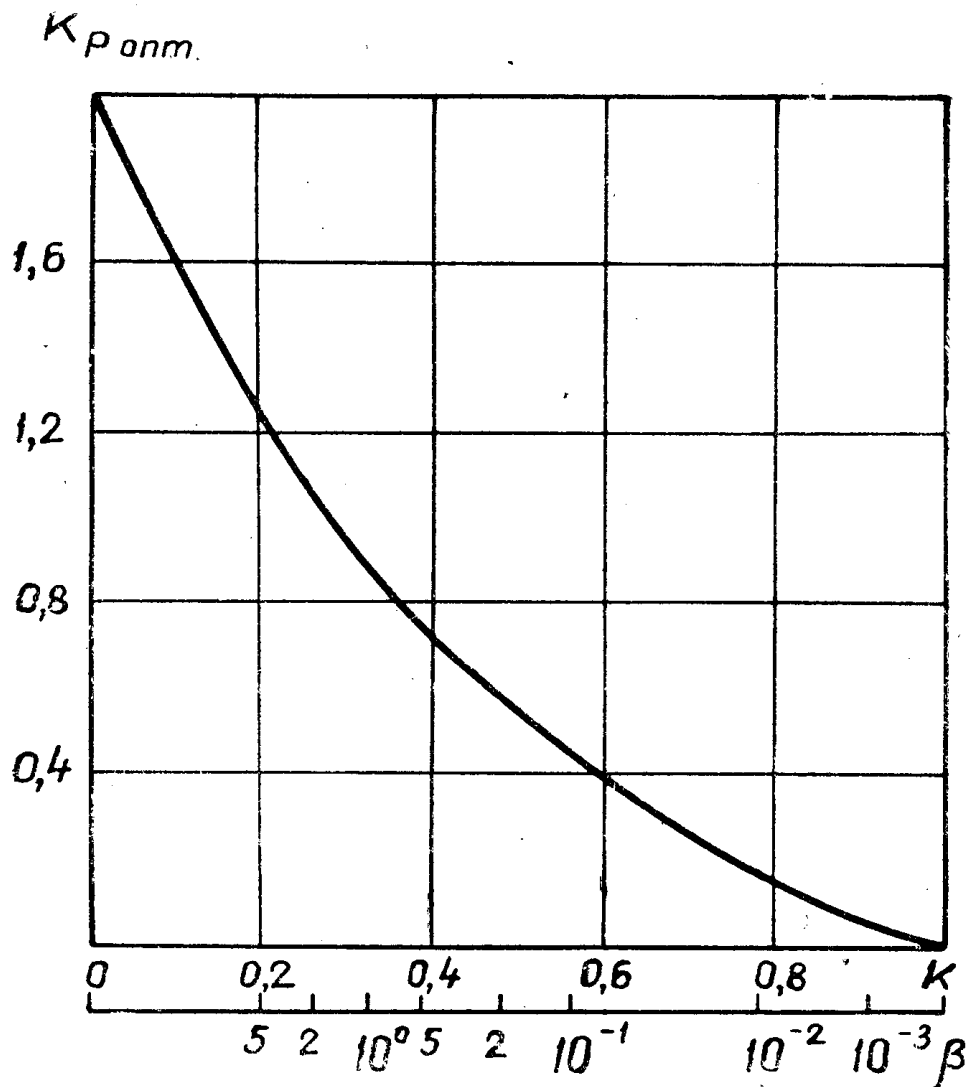


Рис. 2. Коэффициент использования разрядного контура в схеме обострения в оптимальном режиме.

$$\frac{\text{Arth} \sqrt{1 - \frac{1}{\beta k}}}{\sqrt{1 - \frac{1}{\beta k}}} = \frac{1 - k + 2\beta k^2}{1 + k}, \quad (4)$$

при  $\beta k > 1$ .

Решение уравнений (3) и (4) представлено на рис. 2 второй шкалой. Выбор величины компенсирующей емкости производится из условия оптимальности по заданным значениям емкости генератора и нагрузки и по минимальной индуктивности контура обострения, достижимой при данном способе монтажа компенсирующей емкости обостряющего разрядника и нагрузки или кабеля.

В исходных данных для построения номограмм мы не учитывали демпферное сопротивление шаровых разрядников генератора, а  $k''_p$  мы определяли без учета паразитной емкости монтажа. Экспериментальная проверка полученных закономерностей произведена на

генераторе в 0,00625 мкф с номинальным напряжением в 400 кв. Результаты экспериментального определения оптимального режима обострения приведены на рис. 3. Неучет демпферного сопротивления вызывает заметное несоответствие опытного (кривая 2) и расчетного (кривая 1) значений  $k'_p$  только при малых значениях компенсирующей емкости. Погрешность в определении  $k''_p$  не превышает 5%. Оба фактора вызывают смещение оптимального режима в сторону больших  $k$ . Имеет смысл брать завышенное значение параметра  $k$ , чем это необходимо из условия оптимальности по коэффициенту использования разрядного контура, так как более высоким значениям  $k$  соответствует большая доля запасенной в компенсирующей емкости энергии к моменту срабатывания обостряющего разрядника. К. п. д. перезаряда  $\eta = \frac{4k}{(1+k)^2}$ , то есть уже при  $k \approx 0,5$  практически вся запасенная генератором энергия к моменту срабатывания обостряющего разрядника сосредоточена в компенсирующей емкости. Зависимость к. п. д. перезаряда от соотношения емкостей представлена в табл. 1.

Таблица 1

$k$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\eta$	0,33	0,555	0,71	0,817	0,89	0,938	0,97	0,988	0,997	1,0

Выше уже указывалось, что обычные генераторы многоступенчатого исполнения на сотни киловольт обладают индуктивностью разрядного контура в десятки микрогенри. Для схемы обострения вполне достижимо ограничение индуктивности контура величиной 2 — 2,5 мкгн. Поэтому даже при  $k$  значительно меньше 1 развиваемая мощность в контуре обострения превосходит соответствующее значение для контура генератор — нагрузка при отсутствии обострения.

Из-за специфичности процессов, происходящих при импульсном разряде в жидкой среде или твердом диэлектрике, иногда требуется удаление источника напряжения на значительные расстояния. Представляло интерес рассмотреть вопрос об условиях работы генератора при канализации энергии через кабель. Независимо от сопротивления нагрузки в конце кабеля  $k_p$  для начала кабеля определяется разрядом генератора на волновое сопротивление кабеля, которое, как уже указывалось выше, может иметь величину порядка 50 — 100 ом. Понятно, что использование генераторов с рабочими напряжениями в сотни киловольт без применения схемы обострения связано с большими потерями энергии и низким к. п. д. Если к форме волны не предъявляется жестких требований, то  $k_p$  в начале кабеля может быть значительно повышен включением на вход кабеля фронтной емкости. Соотношение  $k_p$  в начале и конце кабеля (рис. 4) строго подчиняется зависимости:

$$U_n = \alpha U_k,$$

где:

$U_n$  — напряжение на нагрузке,

$U_k$  — напряжение на входе кабеля,

$$\alpha — \text{коэффициент преломления } \alpha = \frac{2R_n}{z_B + R_n},$$

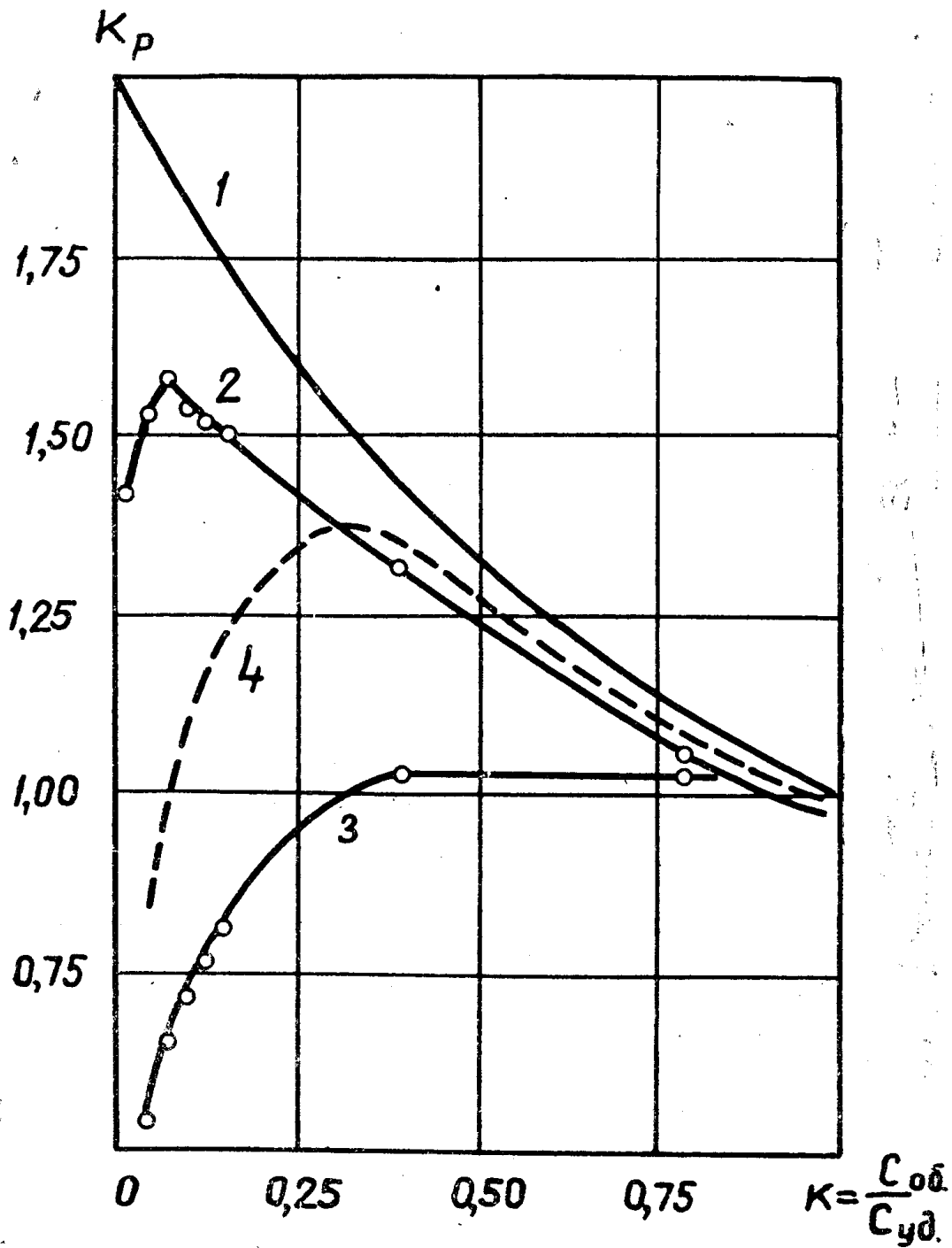


Рис. 3. Экспериментальное определение оптимального значения  $\kappa$ .

- 1 —  $\kappa'_p$  — без учета  $R_i$  (расчет),
- 2 —  $\kappa'_p$  с учетом  $R_i$  (экспериментально),
- 3 —  $\kappa''_p$  — для контура обострения ( $R_H = 175 \text{ ом}$ ),
- 4 —  $\kappa_p = \kappa'_p \times \kappa''_p$  — общий коэффициент использования разрядного контура.

$R_H$  — сопротивление нагрузки,

$z_B$  — волновое сопротивление кабеля ( $z_B = 75 \text{ ом}$ ). Для случая диэлектрических жидкостей  $\epsilon \approx 2$ .

Если сопротивление нагрузки, даже при использовании технической воды и электролитов, в 2—3 раза превышает волновое сопротивление кабеля, то переход от диэлектрических жидкостей к технической воде вызывает уменьшение  $\alpha$  менее чем в 1,5 раза. Это особенно важно, если технологический процесс связан с большими утечками жидкой среды или если жидкая среда подвергается химическому воздействию и возникает необходимость в постоянной очистке ее. Если параметры контура обострения позволяют получить достаточно высокий коэффициент использования, то допустимая степень химической

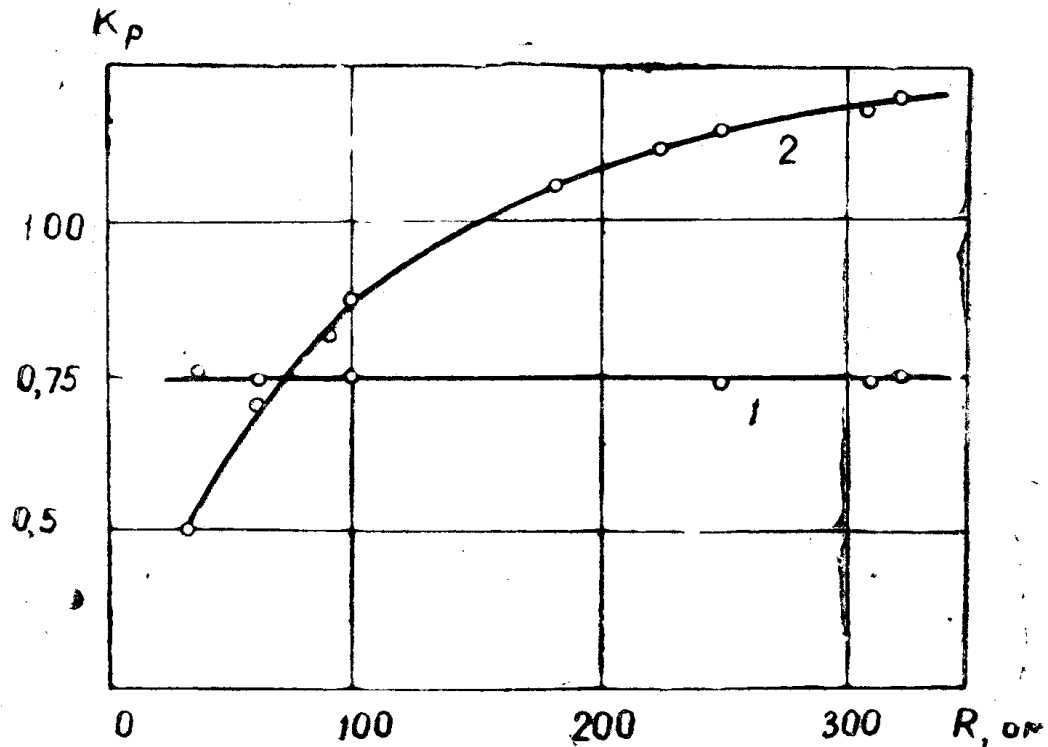


Рис. 4. Коэффициент использования разрядного контура для начала (1) и конца кабеля (2) при различном сопротивлении нагрузки  $z_B = 75 \text{ ом}$ .

загрязненности жидкой среды может быть повышена уменьшением волнового сопротивления кабеля. Полученные зависимости при анализе контура с обострением могут быть использованы и при выборе оптимальных соотношений между сопротивлением нагрузки и волновым сопротивлением кабеля. Действительно, если  $\beta$  понимать как отношение  $\frac{C_{об}}{C_{кр}} \left( C_{кр} = \frac{4L_{об}}{R_H^2} \right)$ , а  $k$  понимать как  $\frac{z_B}{R_H}$ , то  $\alpha = \frac{2R_H}{R_H + z_B} =$

$\frac{2}{1+k}$ ; а исходные формулы для определения оптимальных соотношений  $R_H$  и  $z_B$  подобны рассмотренным ранее для контура с обострением. Совместным решением уравнений для отдельных участков схемы есть возможность номограммным способом выразить оптимальные соотношения между всеми элементами схемы.

Использование полученных оптимальных соотношений при выборе параметров отдельных элементов схемы электроимпульсных установок является важнейшим резервом повышения их технико-экономических показателей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Титков Н. И. и др. Бурение при помощи электрогидравлических разрядов в жидкости. НХ, № 10, 1957.
2. Эпштейн Е. Ф., Арш Э. П., Виторт Г. К. Новые методы разрушения горных пород, Гостехиздат, 1960.
3. Арш Э. И., Виторт Г. К. Изв. Днепропетровского горного института, т. 38, Днепропетровск, 1959.
4. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект, Машгиз, 1955.
5. Астраханов И. М. Давление на ударной волне при сильном искровом разряде в воде, «Нефть, газ», № 10, стр. 87—92, 1959.
6. H.-I. Mürtz. Hochspannungs-Verformung, ETZ-B, H. 18, 1964.
7. Филиппов Н. В., Журин В. В., Суляев В. Д. «Инженерный журнал», 2, 4, 1962.
8. Лимасов А. И., Чепиков А. Т. Вольтсекундные характеристики полярных и неполярных жидкостей, Известия СО АН СССР, 8, 1962.
9. Edwards W. D. Canad. T. Phys. 1951, 29, 310.
10. Усов А. Ф. «Об особенностях использования импульсного пробоя при сверхвысоких напряжениях. Известия ТПИ, т. 139, 1965.