

В.В.ЛИТВИНОВ, мл. науч. сотр., Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев;

О.В.ХВОЩАН, мл. науч. сотр., Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев;

Ю.И.КУРАШКО, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЗАРЯДНОЙ ЦЕПИ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО КОМПЛЕКСА ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ

Розглянуто особливості роботи зарядного кола заглибного електророзрядного комплексу підвищеної потужності. Надано рекомендації щодо поліпшення техніко-експлуатаційних характеристик заглибного комплексу шляхом стабілізації електричного струму в геофізичному кабелі.

The characteristics of the charging circuit of submersible electrodischarge complex with increased power are considered. Expert advices to improve the technical and operational characteristics of a submersible complex by stabilizing the electric current in the geophysical cable are provided.

Введение. Применение электроразрядного метода восстановления потока нефти в скважины является одним из наиболее эффективных способов увеличения объемов добычи нефти. Оборудование, реализующее данный метод, представляет собой сложный электротехнический комплекс (ЭК) систем многоступенчатого преобразования электрической энергии. Входящий в состав оборудования геофизический кабель является элементом зарядной цепи емкостного накопителя ЭК и оказывает существенное влияние на технико-эксплуатационные характеристики всего комплекса. Поэтому изменение параметров этого элемента при эксплуатации ЭК является важной проблемой, требующей отдельного рассмотрения.

Целью настоящей работы является улучшение технико-эксплуатационных характеристик ЭК повышенной мощности для нефтяных скважин путем уменьшения влияния параметров геофизического кабеля на работу ЭК.

Постановка задачи исследований. Структурная схема погружного ЭК повышенной мощности представлена на рис. 1. В наземной части устройства (источнике питания) промышленное напряжение 380 В, 50 Гц выпрямляется трехфазным выпрямителем В1 и преобразуется в переменное транзисторным инвертором напряжения ИН1. Далее напряжение выпрямляется выпрямителем В2 и передается по геофизическому кабелю в погружную часть устройства.

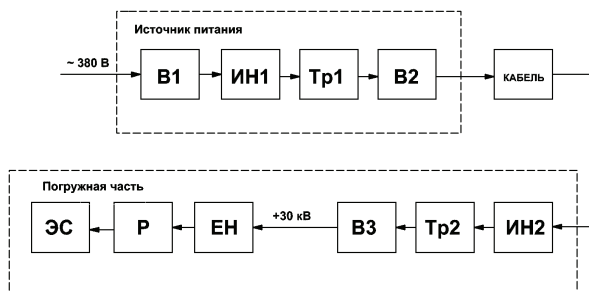


Рисунок 1 – Структурная схема погружного электроразрядного комплекса повышенной мощности

В погружной части постоянное напряжение преобразуется в переменное инвертором напряжения ИН2 и повышается высоковольтным трансформатором Тр2. Далее напряжение выпрямляется выпрямителем В3 и осуществляется зарядка емкостного накопителя ЕН до напряжения срабатывания газового разрядника (30 кВ). После срабатывания разрядника происходит пробой межэлектродного промежутка в электродной системе (ЭС) и формирование волн давления-сжатия в технологической среде.

При изменении длины применяемого кабеля в процессе эксплуатации или в случае применения кабелей различных марок возникает необходимость согласования параметров наземной и погружной частей ЭК с целью достижения необходимых технологических режимов. Это является одной из главных проблем, возникающих при разработке и эксплуатации электроразрядных комплексов такого типа. В ранних моделях скважинных ЭК («Скиф-100» и «Скиф-100М» с выходом источника питания наземной части на переменном токе частотой 1кГц и 3кГц соответственно) проблема решалась включением токоограничивающих реактивных элементов или коммутацией групп вторичных обмоток для получения необходимого значения выходного напряжения. Оба способа требовали изменения схемы источника питания с подключением дополнительных элементов и длительной настройки непосредственно на месте обработки. При этом необходимо было привлечение квалифицированных специалистов и наличие необходимых дополнительных элементов схемы. Однако точность установки частоты зарядно-разрядного цикла оставалась невысокой.

Технические данные и электрические характеристики основных типов применяемых в ЭК типа «Скиф» геофизических кабелей приведены в [1]. Ранее было показано [2], что при электрическом сопротивлении кабеля (одна жила – прямой токопровод и одна жила – обратный токопровод) более 180 Ом невозможно достичь частоты зарядно-разрядного цикла 1 Гц при запасаемой в емкостном накопителе энергии 1кДж. Это справедливо для часто применяемого кабеля марки КГ 3х0.75-60-90 длиной более 3-х км.

Однако в случае применения кабелей марок КГ3х1.5-70-90 и КГ7х0.75-

75-90 возможно достичь более низкого электрического сопротивления при аналогичных длинах, что позволяет выполнять требования технологии электроразрядной обработки скважин. С другой стороны, возникает необходимость определения таких режимов работы наземной и погружной частей ЭК, при которых обеспечивается частота зарядно-разрядного цикла не более 1 Гц. Этим обеспечивается температурная стабильность работы элементов погружной части и, как следствие, надежность и эффективность ЭК в целом.

Следовательно, при уменьшении электрического сопротивления передающего кабеля возникает необходимость стабилизации частоты зарядно-разрядного цикла на уровне 1 Гц. Это возможно достичь при ограничении передаваемой по кабелю энергии путем стабилизации тока в кабеле. Стабилизация выходного тока наземной части в процессе зарядки высоковольтного конденсатора, расположенного в погружной части, осуществляется изменением величины напряжения на входе геофизического кабеля. В качестве способа стабилизации был выбран способ широтно-импульсной модуляции (ШИМ) как наиболее простой в реализации. ШИМ представляет собой способ управления транзисторами инвертора, при котором регулирование выходных параметров источника питания осуществляется изменением времени открытого состояния транзисторных ключей инвертора.

Величина стабилизированного тока на выходе наземной части комплекса определялась в ходе моделирования при максимальном сопротивлении кабеля, равном 150 Ом (при длине кабеля марки КГ3х1.5-70-150, равной 5 км).

Для определения величины стабилизированного тока наземной части была составлена модель зарядной цепи емкостного накопителя погружной части ЭК повышенной мощности в системе схемотехнического моделирования Orcad.

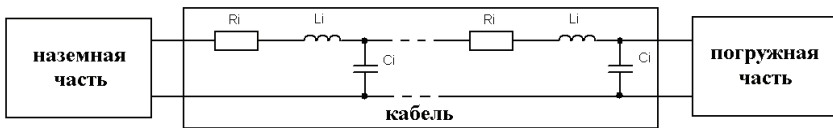


Рисунок 2 – Блок-схема модели ЭК повышенной мощности

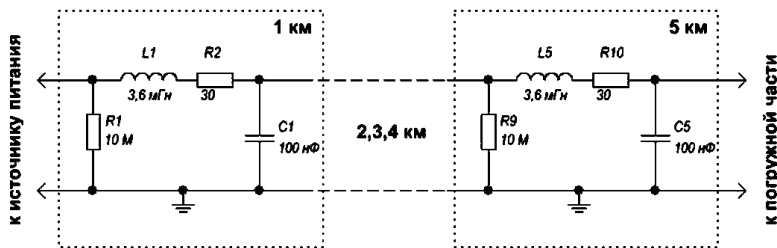


Рисунок 3 – Модель геофизического кабеля КГ 3х1.5-70-150 длиной 5 км

Модель включает в себя схемы замещения наземной части, геофизического кабеля и погружной части зарядной цепи (рис. 2). Модель геофизического кабеля показана на рис. 3 и представляет собой цепную схему замещения, состоящую из набора RLC элементов.

Величины этих элементов выбраны из расчета сосредоточенности параметров кабеля КГ 3х1.5-70-150 на единицу длины, принятую равной 1 км для каждого набора.

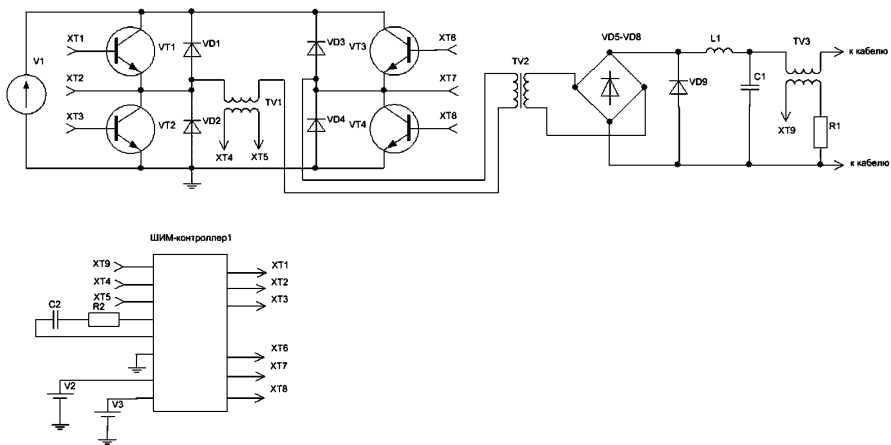


Рисунок 4 – Модель наземной части

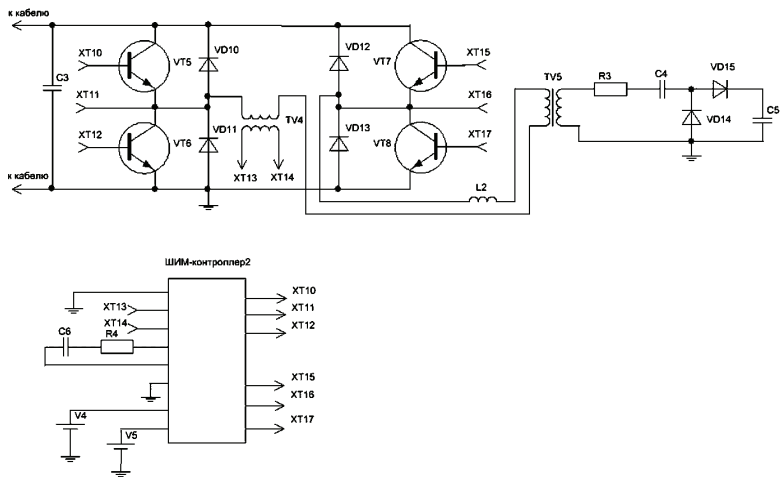
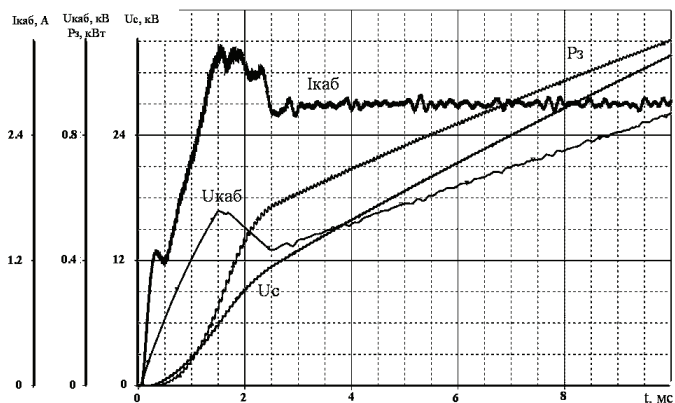


Рисунок 5 – Модель погружной части.

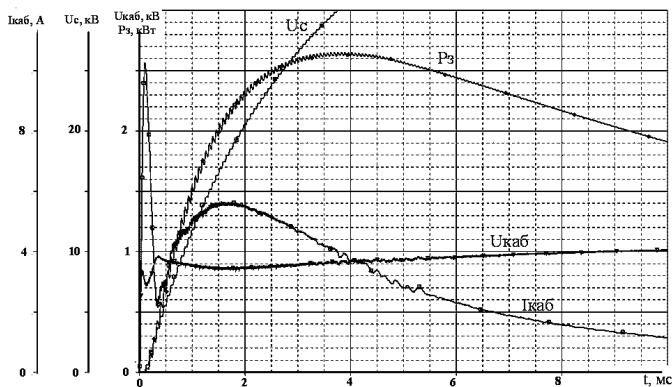
Модель наземной части (рис. 4) включает в себя мостовой транзисторный инвертор, повышающий трансформатор, выпрямитель, LC-фильтр и мо-

дель ШИМ-контроллера [3]. Система стабилизации включает в себя модель ШИМ-контроллера и датчики тока Н1 (первичная обмотка трансформатора ТХ1) и Н2 (на выходе наземной части).

Модель погружной части (рис. 5) состоит из транзисторного инвертора, ШИМ-контроллера с отключенной функцией стабилизации, повышающего трансформатора, высоковольтного выпрямителя, построенного по несимметричной схеме удвоения напряжения, и заряжаемой емкости накопителя.



а

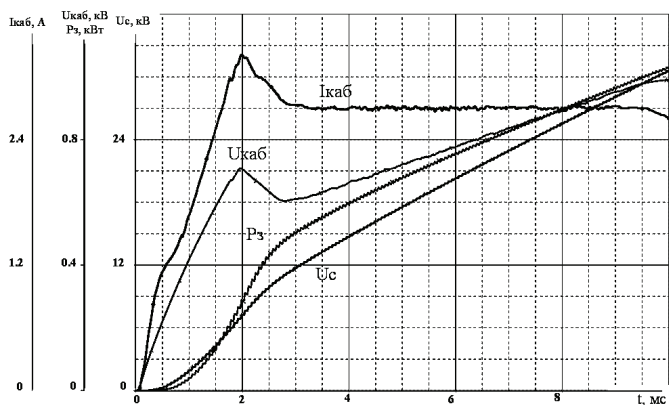


б

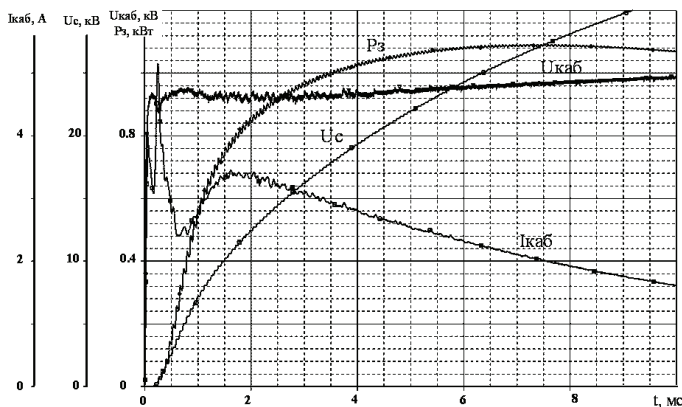
Рисунок 6 – Основные характеристики зарядного процесса для кабеля длиной 1 км: а – со стабилизацией, б – без стабилизации

Результаты исследований. В ходе исследований было определено значение тока стабилизации, равное 2,7 А. Значение тока было выбрано, исходя из минимума погрешности поддержания частоты зарядно-разрядного цикла в зависимости от длины кабеля. Для выбранного значения тока стабилизации эта погрешность не превышает 6 %. Результаты моделирования для этого

значения приведены на рис. 6-8, где $I_{\text{каб}}$ – ток в геофизическом кабеле, $U_{\text{каб}}$ – напряжение на входе кабеля, $U_{\text{с}}$ – напряжение на высоковольтном накопителе, $P_{\text{з}}$ – средняя мощность зарядки накопителя. На рисунках показан один цикл заряда емкостного накопителя. За момент окончания зарядного цикла принимается момент достижения зарядным напряжением величины 30 кВ. В случае, когда стабилизация выходного тока наземной части не используется, ток наземной части ограничивается только активным сопротивлением геофизического кабеля. Поэтому при изменении длины используемого кабеля время достижения зарядным напряжением накопителя порога срабатывания газового коммутатора в 30 кВ будет существенно изменяться, как видно на рис. 6-8.



а

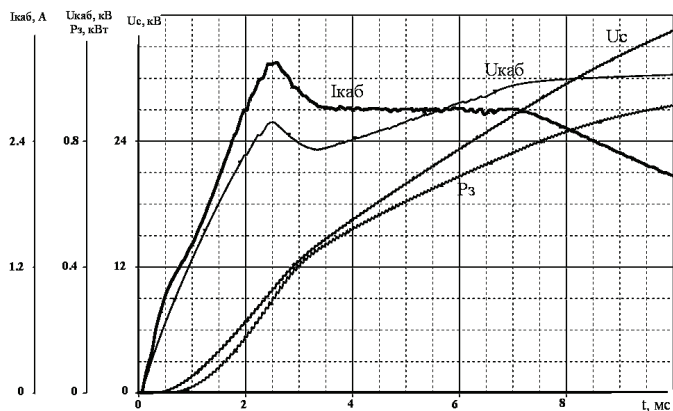


б

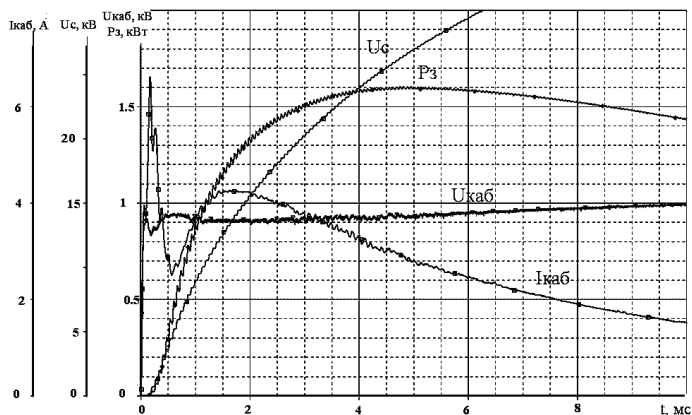
Рисунок 7 – Основные характеристики зарядного процесса для кабеля длиной 3 км: а – со стабилизацией, б – без стабилизации

Представленные характеристики показывают возможность автоматического поддержания частоты зарядно-разрядного цикла на уровне 1 Гц при расчетной погрешности поддержания частоты не более 6 % для геофизического кабеля КГ 3х1.5-70-90 в диапазоне длин от 1 км до 5км включительно. Кроме того, обеспечивается ограничение выходного тока наземной части в начале работы комплекса, когда емкость кабеля еще не заряжена, что положительно влияет на перегрузочную способность наземного источника питания.

На основании полученных результатов можно выделить необходимость применения стабилизации выходного тока наземного источника питания для ЭК повышенной мощности при использовании любого типа геофизического кабеля.



а



б

Рисунок 8 – Основные характеристики зарядного процесса для кабеля длиной 5 км: а – со стабилизацией, б – без стабилизации

На рисунках показано, что стабилизация тока в кабеле достигается увеличением напряжения на его входе. Однако выходное напряжение источника питания ЭК не должно превышать максимальное рабочее напряжение выбранного типа кабеля [1].

Поэтому для кабелей с погонным сопротивлением жилы 15 Ом/км и максимальным рабочим напряжением 1000 В (КГ 3х1.5-70-90) диапазон автоматического поддержания частоты 1 Гц при уровне тока в кабеле 2,7 А возможен в диапазоне длин от 1 до 5 км. Для кабелей с большим погонным сопротивлением жилы стабилизация частоты зарядно-разрядного цикла ЭК на уровне 1 Гц будет происходить при пропорционально меньшей длине.

Основные выводы по работе. По результатам выполненных исследований можно предложить следующие рекомендации по улучшению технико-эксплуатационных характеристик погружных ЭК повышенной мощности:

- необходимо применять стабилизацию выходного тока наземной части погружных ЭК повышенной мощности для уменьшения влияния параметров или типа геофизического кабеля на работу комплекса;
- обеспечить для геофизических кабелей с погонным сопротивлением жилы до 15 Ом/км включительно значение стабилизированного тока, равное 2,7А;
- допустимо применение любого типа геофизических кабелей с количеством жил не менее трех при общем активном сопротивлении двух жил (прямой и обратный токопровод) в диапазоне от 30 до 150 Ом.

Список литературы: 1. Стандарт ЕАГО-010-01 «Кабели грузонесущие геофизические бронированные. Общие технические условия». 2. *Хвоцан О.В.*, *Курашко Ю.И.*, *Литвинов В.В.* Повышение эффективности зарядных процессов электроразрядных погружных комплексов увеличенной мощности // Вестник национального технического университета «ХПИ». Тематический выпуск «Техника и электрофизика высоких напряжений». – 2006. – №37. – С. 86-92. 3. focus.ti.com/lit/ds/symlink/uc1825.pdf.

Поступила в редколлегию 12.03.2010