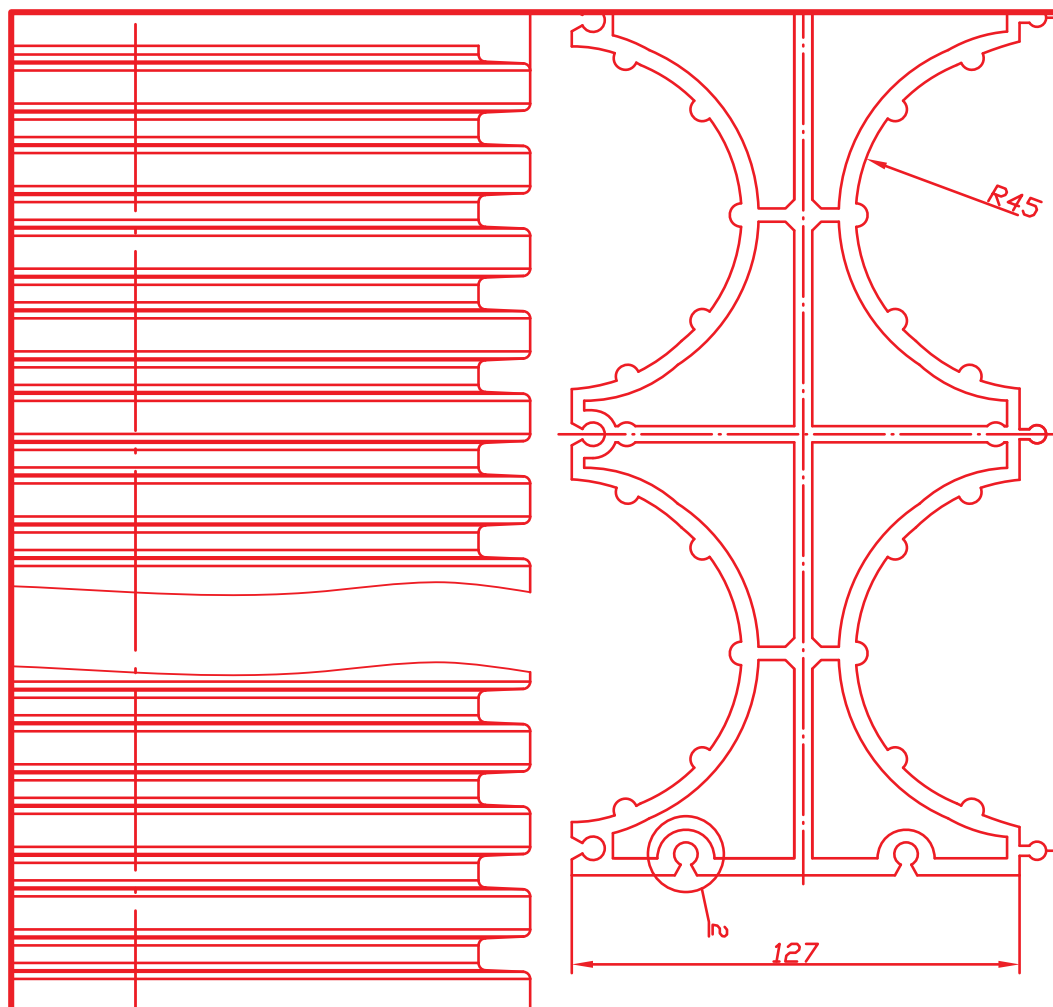




Двустенные трубы



**Заключение об использовании двустенных
полиэтиленовых труб ДКС для прокладки
силового кабеля**

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 621.315.232

№ гос. регистрации 01201160439

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор СГТУ,
д.т.н., профессор

А.А. Сытник

«_____» _____ 2011 г.



**ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ДВУСТЕННЫХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ ЗАО «ДКС»
ДЛЯ ПРОКЛАДКИ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ**

Руководитель темы
д.т.н., профессор

И.И. Артюхов

Саратов 2011

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Профессор кафедры

«Электроснабжение промпредприятий», д.т.н.



И.И. Артюхов

Профессор кафедры

«Электроснабжение промпредприятий», д.т.н.



С.Ф. Степанов

Доцент кафедры

«Электроснабжение промпредприятий», к.т.н.



В.В. Коваленко

Ассистент кафедры

«Электроснабжение промпредприятий»



И.М. Павленко

Аспирант кафедры

«Электроснабжение промпредприятий»



О.Б. Соломенкова

Реферат

Отчет 136 с., 59 рис., 44 табл., 12 источников.

КАБЕЛИ, МАКСИМАЛЬНЫЕ ТОКОВЫЕ НАГРУЗКИ, ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ В ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБАХ ЗАО «ДКС».

Объектом исследования являются тепловые режимы кабелей прокладываемых в двустенных полиэтиленовых трубах ЗАО «ДКС».

Цель работы – определение максимальных допустимых токовых нагрузок кабелей прокладываемых в двустенных полиэтиленовых трубах производства ЗАО «ДКС».

В результате работы проводилось имитационное моделирование тепловых процессов в системах: силовой кабель с предельной токовой нагрузкой – полиэтиленовая двустенная гофрированная труба.

В результате исследования были определены предельные значения токов кабелей при прокладке в трубах ЗАО «ДКС». Исследования проводились для различных сечений кабелей и размеров труб при прокладке кабелей в земле и в бетонных блоках.

Область применения полученных результатов. Проведенные расчетные исследования будут востребованы проектными и электроснабжающими организациями, а также другими организациями и специалистами при решении вопросов применения полиэтиленовых труб ЗАО «ДКС» в качестве каналов для прокладки силовых электрических кабелей.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1. Краткий анализ нормативно-технической документации и литературных источников, содержащих информацию по величине допустимых токовых нагрузок кабелей	8
2. Технические характеристики двустенных гофрированных труб ДКС	10
3. Кабели силовые с бумажной, пластмассовой и из сшитого полиэтилена изоляцией	14
3.1 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией	14
3.2 Силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена и оболочкой из ПВХ пластиката	16
3.3 Кабели силовые высоковольтные с бумажной пропитанной изоляцией	16
4. Методика расчетных исследований	18
4.1 Краткое теоретическое описание пакета прикладных программ ELCUT	19
4.2 Магнитное поле переменных токов	20
4.3 Расчет температурного поля	22
4.4 Источники тепла	23
4.5 Граничные условия	24
4.6 Расчет эквивалентного коэффициента теплопроводности воздушной прослойки	26
5. Описание расчетных моделей кабелей	32
5.1 Исходные данные для кабеля	33
5.2 Расчет воздушной прослойки для кабелей и труб разного диаметра	38
6. Прокладка кабелей в бетонных блоках в трубах ДКС	111
7. Ответы на дополнительные вопросы, поставленные заказчиком	129
8. Выводы	131

Заключение	133
Список использованных источников	135

Ссылки на нормативные документы

- Правила устройства электроустановок (ПУЭ), 6 и 7-е издания
- Нормы пожарной безопасности 246-97 (НПБ 246-97)
- Технические рекомендации по применению пластмассовых труб различных видов для электропроводок 76-1998
- ГОСТ 23286 -1978 Кабели, провода и шнуры. Нормы толщин изоляции, оболочек и испытаний напряжением.
- ГОСТ Р 50827.1-2009 Коробки и корпуса для электрических аппаратов, устанавливаемые в стационарные электрические установки бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Общие требования
- ГОСТ 16442-1980 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией.
- ГОСТ Р 53769–2010 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия.
- ГОСТ 18410–1973 Кабели силовые с пропитанной бумажной изоляцией. Переиздание – май 1998г.
- РД 34.20.508–Инструкция по эксплуатации силовых кабельных линий. Часть 1. Кабельные линии напряжением до 35 кВ.
- ГОСТ МЭК 60287–1–3–2009 Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1.3.

Введение

СГТУ по договору с ЗАО «Диэлектрические кабельные системы» были проведены расчетные исследования по определению допустимых токовых нагрузок для кабелей различных сечений, прокладываемых в двухслойных профилированных диэлектрических трубах производства ЗАО «ДКС». Расчетные исследования проводились как для одиночно проложенных кабелей в трубе, так и для группового размещения кабелей в одной трубе. Рассматривались два варианта прокладки труб с кабелями: в земле и в бетонных блоках.

Одной из особенностей труб ДКС является то, что они имеют двухслойную стенку, а необходимая механическая прочность трубы обеспечена тем, что внешний слой стенки выполнен гофрированным. Так как в качестве материала трубы используется пластик, то это обстоятельство ограничивает диапазон температур, при которых гарантирована достаточная кольцевая жесткость трубы, температурой $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$. И поэтому необходимо учитывать нагрев трубы теплом, выделяемым лежащим в ней кабелем.

В данной работе рассматривались только вопросы определения допустимой токовой нагрузки на кабели, исходя из обеспечения допустимых тепловых режимов кабеля и трубы.

При проектировании кабельных трасс диаметр трубы для прокладки того или иного кабеля должен выбираться с учетом требований инструкций по прокладке, монтажу, кабелепроводов на основе пластмассовых труб с двухслойной профилированной стенкой.

При прокладке кабелей в пластиковых профилированных трубах там, где это необходимо, учитывать ограничения связанные с требованиями пожаробезопасности и требованиями инструкций по прокладке и монтажу, определяющих условия затягивания кабелей в трубы.

1 Краткий анализ нормативно-технической документации литературных источников, содержащих информацию по величине допустимых токовых нагрузок кабелей

Анализ нормативно-технической документации и литературных источников, содержащих информацию по величине допустимых токовых нагрузок кабелей, показал большое расхождение по приведенным допустимым значениям токовых нагрузок кабелей в зависимости от сечения кабелей, условий их прокладки и монтажа. При этом, как правило, нигде не указано по какой методике, при каких допущениях и ограничениях проводились расчеты. В этих условиях выяснить обоснованность приведенных данных по нагрузкам кабелей не представляется возможным.

В 2010 году введен в действие ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009 Кабели электрические. Вычисление номинальной токовой нагрузки.

Стандарт рассматривает условия установившегося режима работы кабелей при переменном и постоянном напряжении, проложенных непосредственно в земле, в каналах, лотках или стальных трубах, а также кабелей, проложенных на воздухе. Настоящий стандарт содержит формулы для расчета номинальных токовых нагрузок и потерь.

Расчетно-справочных материалов, полученных с применением данного стандарта для существующей номенклатуры кабельной продукции, пока нет.

Следует отметить отсутствие рекомендаций по определению допустимых токовых нагрузок для кабелей при прокладке их в гофрированных пластмассовых трубах, в частности, двустенных кабельных системах ЗАО «ДКС».

В некоторых документах есть указания о снижении токовой нагрузки на кабели, проложенные в трубе, но в разных документах приводятся разные понижающие коэффициенты: в одних $K_{\text{пон}} = 0,88$; в других $K_{\text{пон}} = 0,94$; в третьих рекомендуют считать нагрузку кабеля проложенного в земле в трубе, как при прокладке в воздухе без каких

либо коэффициентов [3, стр.134], при этом нет пояснений, как влияет материал трубы и соотношение диаметра кабеля к диаметру трубы на снижение токовой нагрузки.

В таблице 1 приводятся сравнительные данные по допустимым значениям токов для кабелей различных сечений при прокладке их в земле и в воздухе, опубликованные в ряде изданий.

Таблица 1 - Допустимые значения токов кабелей различных сечений при прокладке их в земле и в воздухе.

Наименование Источника	Сече- ние ка- беля	Материал изоляции	Среда - воздух		Среда - земля	
			Алюм.	Медь	Алюм.	Медь
ГОСТ 18410 1973	185	Бумага	342	451	314	404
ГОСТ 16442 – 80	185	ПВХ	313	421	308	406
ГОСТ Р 53764 -10	185	ПВХ	302	397	312	405
РД 34.20 508	185	ПВХ	270	350	385	500
ПУЭ (6-е изд.)	185	ПВХ	270	350	385	500
Справочник по Эл. Сетям 0,4-35 кВ Ма- карава Е.Ф., т.3	185	ПВХ	270	350	385	500
Справочник. Элек- трические кабели, провода и шнуры Бе- лорусов Н.И.и др	185	ПВХ	270	350	385	500
Сайт Русской кабель- ной компании	185	ПВХ	369	499	355	469

Из таблицы видно, что допустимые токовые нагрузки кабелей, приведенные в разных источниках, сильно различаются.

Проблема имеет определенные сложности. Это подтверждается тем, что на протяжении последних семи лет в ПУЭ 7-го издания, так и не появился раздел по кабельным линиям электропередач. Представленные в данном отчете материалы в определенной мере решают эти проблемы.

2 Технические характеристики двустенных гофрированных труб ДКС

Двустенная труба ПНД/ПВД ДКС относится к системе гибких гофрированных двустенных труб для электропроводки.

Двустенная труба ПНД/ПВД предназначена для защиты кабелей низкого и высокого напряжения от механических повреждений и агрессивного воздействия окружающей среды при электромонтажных работах в грунте или при монтаже другим способом.

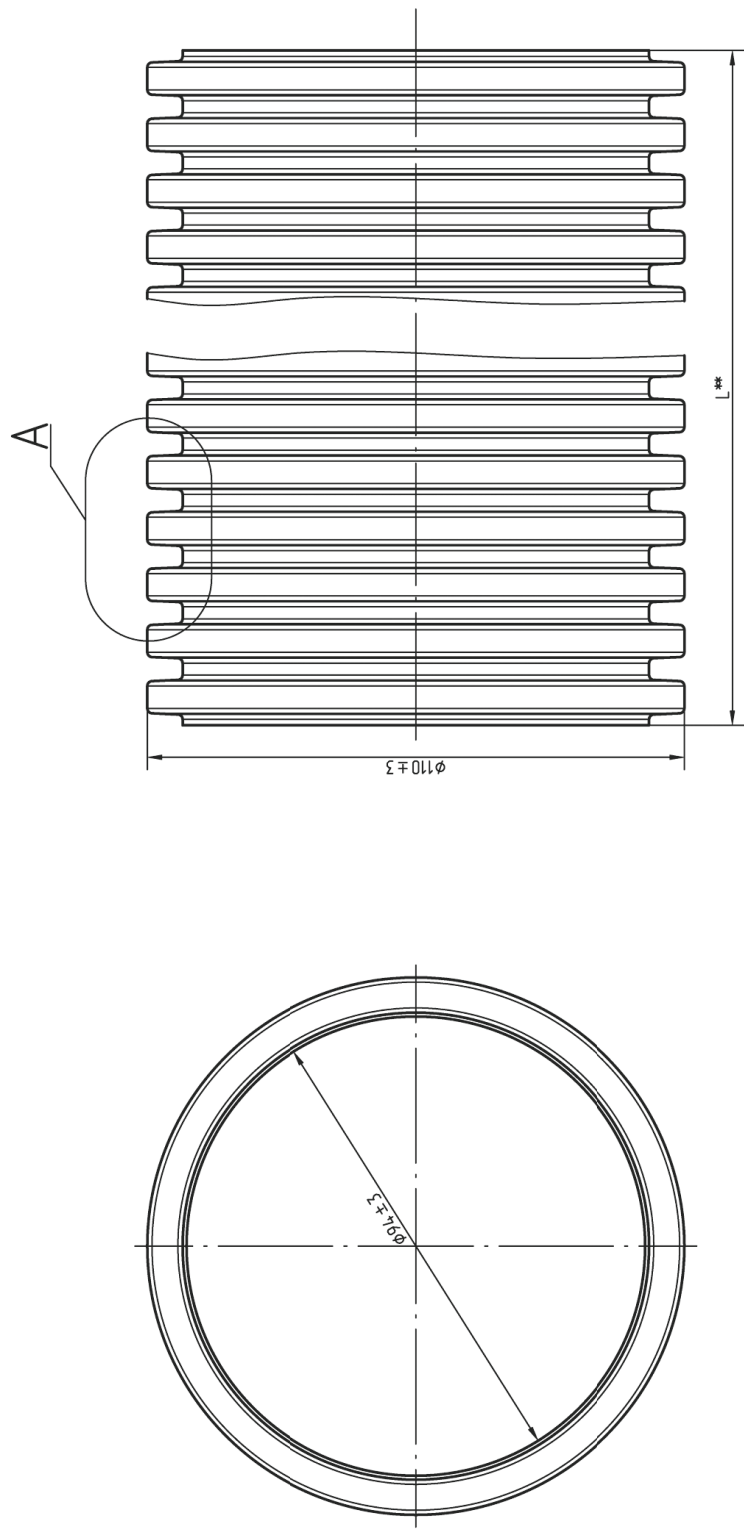
Таблица 2 - Технические характеристики двустенных гофрированных труб ДКС

Материал	Внешняя стенка - полиэтилен низкого давления (ПНД), гофрированный
	Внутренняя стенка - полиэтилен высокого давления (ПВД), гладкий
Стандарт:	ТУ 2248 015 47022248 2006.
Область применения:	Для защиты кабелей низкого и высокого напряжений от механических воздействий и агрессивного воздействия окружающей среды при прокладке непосредственно в грунте, либо монтаже другим скрытым способом (монолитно в бетон, по кабельным сооружениям)
Температура монтажа:	от -40 до +90°C
Температура эксплуатации:	от -55 до +90°C
Цвет:	Внешняя стенка - красная, синяя (маркируется добавлением к основному коду буквенного обозначения В), черная (маркируется добавлением к основному коду буквенного обозначения - А)
	Внутренняя стенка – желтая.
По согласованию с потребителем допускается изготовление труб со стенками другого цвета.	
Диэлектрическая прочность: не менее 2000В (50 Гц, в течение 15 мин.)	

Сопrotивление изоляции: не менее 100 МОм (500В, в течение 1 мин.)						
Сортамент труб ДКС						
Наименование	Код	Внутренний диаметр, мм	Наружный диаметр, мм	Количество в бухте, м	Цвет внешний	Цвет внутренний
Труба двустенная для электропроводки с протяжкой	121920	172	200	35	Красный	Желтый
Труба двустенная для электропроводки с протяжкой	121916	137	160	50	Красный	Желтый
Труба двустенная для электропроводки с протяжкой	121914	120	140	50	Красный	Желтый
Труба двустенная для электропроводки с протяжкой	121912	107	125	50	Красный	Желтый
Труба двустенная для электропроводки с протяжкой	121911	94	110	50	Красный	Желтый
Труба двустенная для электропроводки с протяжкой	121990	77	90	50	Красный	Желтый
Труба двустенная для электропроводки с протяжкой	121975	62,5	75	50	Красный	Желтый

Труба двустенная для электропроводки с протяжкой	121963	51,5	63	50	Красный	Желтый
Труба двустенная для электропроводки с протяжкой	121950	41,5	50	100	Красный	Желтый

На рисунке 1 представлен чертеж двустенной гофрированной трубы, производства ЗАО «ДКС».



A (4:1)

- 1 * Размеры для справок.
- 2 Остальные технические требования по ТУ 2248-015-4-7022248-2006.
- 3 ** Длина изделия по ТУ 2248-015-4-7022248-2006.
- 4 Масса 520 ± 20 г/м.
- 5 Форма поверхности Б не контролируется.
- 6 Цвет внешней оболочки согласно ТУ.
- 7 Цвет внутренней оболочки согласно ТУ.

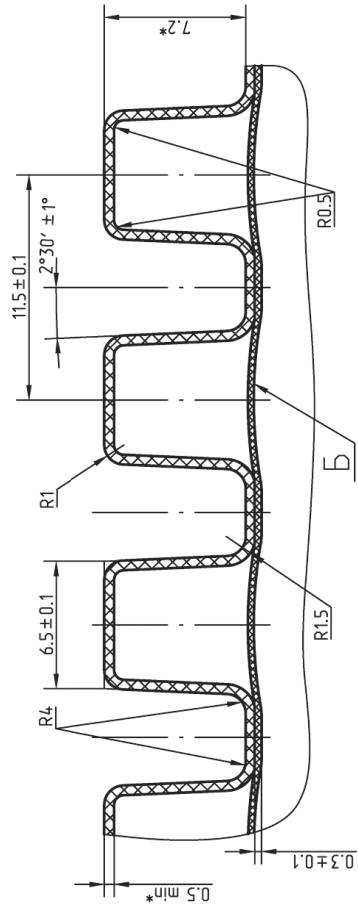


Рис.1 - Чертеж трубы Ø110 мм ЗАО «ДКС»

3 Кабели силовые с бумажной, пластмассовой и из сшитого полиэтилена изоляцией

В данной работе тепловой режим кабеля внутри гофрированной трубы исследуется применительно к широко используемым отечественным кабелям.

3.1 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией

В данную группу входят кабели с алюминиевыми или медными токопроводящими жилами с пластмассовой изоляцией в пластмассовой оболочке, с защитными покровами или без них, предназначенные для передачи и распределения электроэнергии в стационарных установках на номинальное переменное напряжение 0,66 - 6 кВ частотой 50 Гц при температуре окружающей среды от -50°C до +50°C.

Таблица 3 - Марки, элементы конструкции кабелей с пластмассовой изоляцией

Марка кабеля	Материал жил: А – алюминий, М - медь	Изоляция: П - полиэтилен, В - ПВХ-пластикат	Оболочка: П – полиэтилен, В -ПВХ-пластикат, Внг- ПВХ-пластикат пониженной горючести	Защитный покров (раздел 4.1)
АВВГ	А	В	В	отсутствует
ВВГ	М	В	В	отсутствует
АВВГнг	А	В	Внг	отсутствует
ВВГнг	М	В	Внг	отсутствует
АББШв	А	В	отсутствует	ББШв
ВББШв	М	В	отсутствует	ББШв
АББШнг	А	В	отсутствует	ББШнг
ВББШнг	М	В	отсутствует	ББШнг
АВВБ	А	В	В	Б
ВВБ	М	В	В	Б
АВВБГ	А	В	В	БГ
ВВБГ	М	В	В	БГ

Базовыми марками в данной группе кабелей являются *АПВГ*, *АВВГ*, *ВВГ*, *АВВГз*, *ВВГз*, *АВБбШв*, *ВБбШв*. Кабели выпускаются в соответствии с ГОСТ 16442-80.

Кабели *АПВГ*, *АВВГ*, *ВВГ* предназначены для прокладки в сухих и влажных производственных помещениях, на специальных кабельных эстакадах, в блоках.

Кабели марок *АВБбШв* и *ВБбШв* предназначены для применения при наличии опасности механических повреждений в процессе эксплуатации.

Кабели марок *АВВГнг*, *ВВГнг*, *АВБбШнг* и *ВБбШнг* отличаются от базовых марок выполнением оболочки или шланга из *ПВХ*-пластика пониженной горючести и применяются для обеспечения пожарной безопасности кабельных цепей при прокладке в пучках.

Кабели марок *АВВБ*, *ВВБ*, *АВВБГ*, *ВВБГ* отличаются от кабелей марок *АВВГ* и *ВВГ* наличием защитных покровов типа *Б* и *БГ* и предназначены в основном для тех же областей применения, что и кабели марок *АВБбШв* и *ВБбШв*.

Токопроводящие жилы изолируются в зависимости от марки *ПВХ*-пластиком или полиэтиленом. Действующим стандартом предусмотрено выполнение изоляции из сшитого полиэтилена (обозначение *Пв*).

Реальные значения толщин изоляции кабелей и оболочек, с учетом значительных допусков, могут отличаться на 5-10% в меньшую или большую сторону.

Кабели на напряжение 3 и 6 кВ изготавливают только трехжильными. Трехжильные кабели *ВВГ*, *АВВГ*, *АВБбШв* выпускаются максимальным сечением 240мм². Кабели больших сечений выпускаются одножильными. Для четырехжильных кабелей наибольшее номинальное сечение жил - 185 мм².

3.2 Силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена и оболочкой из ПВХ пластика

Данные кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках при переменном напряжении стандартной частоты в сетях с изолированной или заземленной нейтралью.

Кабели марок *ПвВГ*, *АПвВГ* применяются для прокладки одиночных кабельных линий в кабельных сооружениях, помещениях при условии отсутствия опасности механических повреждений. Кабели марок *ПвВГнг*, *АПвВГнг* используются для групповой прокладки кабельных линий в кабельных сооружениях, помещениях, при условии отсутствия опасности механических повреждений. Предназначены для прокладки во взрывоопасных зонах. Не распространяют горение при прокладке в пучках по категории А.

Основные преимущества кабеля из сшитого полиэтилена по сравнению с кабелем с бумажной изоляцией заключаются в увеличенной нагрузочной способности при прокладке как в воздухе, так и в земле. Более высокая длительно допустимая рабочая температура. Повышенная надежность.

3.3 Кабели силовые высоковольтные с бумажной пропитанной изоляцией

Эти кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии номинальным напряжением от 1 до 35 кВ с частотой 50 Гц в сетях с изолированной нейтралью. Жилы выполняются медными или алюминиевыми, круглой, секторной или сегментной формы.

Основными особенностями кабелей на напряжения 1–10 кВ является отсутствие экранов на изоляции и применение секторных токопроводящих жил, что позволяет уменьшить их наружный диаметр на 15 – 25%, а также массу и стоимость.

Изоляция силовых кабелей состоит из лент кабельной бумаги, пропитанной маслоканифольным составом. Каждая фаза кабеля изолируется отдельно, а затем поверх скрученных изолированных жил накладывается общая поясная изоляция. Промежутки

между изолированными жилами заполняются жгутами из бумаги. Для кабелей на напряжение 6 кВ толщина фазной изоляции составляет 2 мм, а поясной – 0,95 мм.

В кабелях с бумажной пропитанной изоляцией используется только металлическая герметичная изоляция из свинца или алюминия. Однако так как алюминий имеет меньшую стойкость к электрохимической коррозии, такую оболочку защищают полимерным покровом. Благодаря большой механической прочности кабели с алюминиевыми оболочками могут выполняться небронированными.

При расчетах максимальная температура нагрева жил различных типов и сечений кабелей принималась равной максимально допустимой в соответствии с рекомендациями ПУЭ [1]. Для кабелей с поливинилхлоридной изоляцией – 70 °С, для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией (6 кВ) - 75 °С, для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена - 90 °С.

Для сравнения в итоговых таблицах приводятся данные по предельно допустимым нагрузкам кабелей различных сечений, прокладываемых без труб в воздухе и в земле. Данные взяты из нормативно-технической документации на кабели[1],[9].

4 Методика расчетных исследований

Температурный анализ является важной составной частью при решении многих электротехнических систем. Как правило, интерес представляют распределение температуры, температурного градиента, теплового потока и потерь тепла в отдельных узлах и элементах электротехнических устройств. Для расчета таких задач разработаны специальные пакеты прикладных программ. Одним из таких пакетов является ELCUT.

ELCUT – это интегрированная диалоговая система программ, позволяющая решать плоские и осесимметричные задачи различных типов. Нами использовалась часть программного пакета, отвечающего за расчет задач теплопередачи (расчет температурного поля): стационарная теплопередача.

Однако решение задачи по тепловому расчету кабеля находящегося в гофрированной трубе с помощью существующего варианта программы ELCUT оказалось невозможным по двум причинам.

Во-первых, кабель в трубе расположен несимметричного относительно центра трубы и поэтому данную задачу нельзя рассматривать, как плоскую или осесимметричную.

Во-вторых, до начала решения задачи необходимо задать граничные условия: по температуре вершин, ребер, блоков, заданный тепловой поток на границе расчета, условия радиационного и конвективного теплообмена в воздушной прослойке, но эти параметры нельзя определить заранее. Поэтому при выполнении данной работы пакет прикладных компьютерных программ ELCUT использовался в комбинации с традиционными аналитическими методами расчета тепловых процессов.

Для решения поставленной задачи была выбрана следующая методика: модель реальной гофрированной трубы заменялась эквивалентной, у которой ребра располагались вдоль трубы. Так как нас интересуют только тепловые расчеты, то такая замена оправдана и возможна. При этом высота ребер и их площадь в эквивалентной трубе соответствовали исходной. Это позволило свести задачу к классу плоско-параллельных задач.

4.1 Краткое теоретическое описание пакета прикладных программ ELCUT

ELCUT - современный пакет прикладных программ позволяет решать двумерные краевые задачи математической физики, описываемые эллиптическими дифференциальными уравнениями в частных производных относительно скалярной или однокомпонентной векторной функции (потенциала). Рассматриваются три основных класса двумерных задач: плоские, плоско-параллельные и осесимметричные.

Плоские задачи характерны для описания процессов теплопередачи в тонких пластинах. Они решаются в двумерной прямоугольной системе координат. Плоскопараллельные постановки используют декартову систему координат x, y, z , и причем предполагается, что геометрия расчетных областей, свойства сред и параметры, характеризующие источники поля неизменны в направлении оси z . Вследствие этого описание геометрии, задание свойств, граничных условий и источников, а также обработку результатов можно проводить в плоскости x, y , называемой *плоскостью модели*. Принято, что ось x направлена слева направо, а ось y - снизу вверх. Осесимметричные задачи решаются в цилиндрической системе координат z, r, θ . Порядок следования осей выбран для общности с плоскопараллельными задачами. Физические свойства и источники поля предполагаются не зависящими от угловой координаты. Работа с моделью проводится в плоскости z, r (точнее в полуплоскости $r \geq 0$). Ось вращения Z направлена слева направо, ось r - снизу вверх.

Геометрическая конфигурация задачи определяется как набор подобластей, представляющих собой одно- и многосвязные криволинейные многоугольники в плоскости модели, не пересекающиеся между собой иначе как по границе.

Каждой подобласти приписан определенный набор физических свойств. В работе используются термины *блок* для полигональной подобласти, *ребро* для отрезков и дуг окружностей, образующих границы блоков и *вершина* для концов рёбер и изолированных точек. Рёбра, отделяющие расчетную область от остальной части плоскости, со-

ставляют *внешнюю границу* расчетной области. Все остальные рёбра являются *внутренними границами*.

Для решения поставленной в данной работе задачи использовались две подпрограммы из пакета прикладных программ ELCUT: расчет магнитного поля переменного тока и расчет температурного поля.

4.2 Магнитное поле переменных токов

Анализ магнитного поля переменных токов состоит в расчете электрического и магнитного поля, возбужденного приложенными переменными (синусоидально изменяющимися во времени) токами или внешним переменным полем. Изменение поля во времени предполагается синусоидальным. Все компоненты поля и электрические токи изменяются как,

$$z = z_0 \cos(\omega t + \varphi_z),$$

где z_0 амплитудное (максимальное) значение z , φ_z — фазовый угол, и ω — угловая частота.

Представление гармонически изменяющейся величины при помощи комплексного числа существенно облегчает анализ. Действительная и мнимая части комплексного числа:

$$z = z_0 e^{i(\omega t + \varphi_z)},$$

сдвинуты по фазе на 90 градусов по отношению друг к другу, так что их линейная комбинация может представлять произвольный фазовый угол.

В зависимости от фазового сдвига между двумя осциллирующими компонентами вектора, вектор может вращаться по часовой стрелке или в противоположном направлении, либо колебаться вдоль некоторого направления. В общем случае конец вектора описывает эллипс. Главные полуоси эллипса соответствуют максимальным значениям векторной величины. Отношение длин меньшей и большей полуосей определяет коэффициент поляризации вектора. Последний предполагается положительным при враще-

нии вектора против часовой стрелки и отрицательным в противоположном случае. Нулевой коэффициент соответствует линейной поляризации вектора.

Полный ток в проводнике может рассматриваться как сумма стороннего тока, вызванного приложенным извне напряжением, и вихревого тока, индуцированного переменным магнитным полем:

$$j = j_{\text{стор}} + j_{\text{вихр}}$$

Если задача расчета нестационарного магнитного поля решается совместно с присоединенной электрической цепью, то уравнение ветви электрической цепи, содержащей массивный проводник в магнитном поле, выглядит следующим образом:

$$I = \frac{U}{R} - g \int_{\Omega} \frac{\partial A}{\partial t} dS$$

где U - разность потенциалов на концах массивного проводника, R - омическое сопротивление постоянному току. Задача формулируется как дифференциальное уравнение в частных производных относительно комплексной амплитуды векторного магнитного потенциала A ($B = \text{rot } A$, B - вектор магнитной индукции). Вектор магнитной индукции предполагается лежащим в плоскости модели (xz или yz), в то время как вектор плотности электрического тока j и векторный магнитный потенциал A ортогональны к нему. Только компоненты j_z и A_z в плоской постановке и j_θ и A_θ в осесимметричном случае отличны от нуля. Будем обозначать их просто j и A . Уравнение для плоской задачи запишется как:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_y} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_x} \frac{\partial A}{\partial y} \right) - i\omega g A = -j_{\text{нóиò}}.$$

и для осесимметричного случая:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r\mu_z} \frac{\partial(rA)}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\mu_r} \frac{\partial A}{\partial z} \right) - i\omega g A = -j_{\text{нóиò}}.$$

где электропроводность g и компоненты тензора магнитной проницаемости μ_{xz}

и μ_y (μ_z и μ_r) постоянны в пределах каждого блока модели. Сторонняя составляющая тока $j_{\text{стор.}}$ предполагается постоянной в пределах каждого блока модели в плоской задаче и обратно пропорциональной радиусу ($\sim 1/r$) в осесимметричном случае.

4.3 Расчет температурного поля

ELCUT позволяет решать задачи теплопередачи (стационарные и нестационарные) в линейной и нелинейной постановках. При решении тепловых задач используется уравнение теплопроводности в одном из видов:

для линейных задач:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q - c\rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{- в плоском случае;}$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_r r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -q - c\rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{- в осесимметричном случае;}$$

для нелинейных задач:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q(T) - c(T)\rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{- в плоском случае;}$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda(T) r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -q(T) - c(T)\rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{- в осесимметричном случае;}$$

где:

T - температура; t - время; $\lambda_x(y,z,r)$ - компоненты тензора теплопроводности (в линейной постановке); $\lambda(T)$ - теплопроводность, как функция температуры, представленная кубическим сплайном (анизотропия не поддерживается в нелинейной постановке); q - удельная мощность тепловыделения, в линейной постановке - константа, в нелинейной постановке - задаваемая кубическим сплайном функция температуры; $c(T)$ - удельная теплоемкость, в линейной постановке - константа, в нелинейной постановке - задаваемая кубическим сплайном функция температуры; ρ - плотность.

В стационарной задаче последнее слагаемое в правой части уравнений равно нулю.

Все параметры уравнений в линейной постановке постоянны в пределах

каждого блока модели.

Постановка задачи распределения температурного поля в тонких пластинах весьма похожа на формулировку плоско-параллельной задачи, и мы не будем обсуждать её отдельно.

4.4 Источники тепла

ELCUT позволяет задать источники тепла в блоках, рёбрах или отдельных вершинах модели. Источник, заданный в конкретной точке плоскости xu , описывает нагреватель в виде струны, следом которой служит данная точка плоскости, и задается мощностью тепловыделения на единицу длины. В осесимметричном случае точечный источник поля представляет нагреватель в виде окружности вокруг оси симметрии или точечный источник, расположенный на оси. Чтобы охватить оба этих случая, точечный источник в осесимметричном случае всегда описывается полной тепловой мощностью, которая для окружности связана с линейной плотностью тепловыделения соотношением $q = 2\pi r \cdot ql$. Источник тепла, заданный на ребре модели, соответствует тепловыделяющей поверхности в трехмерном мире. Он характеризуется поверхностной плотностью тепловыделения и описывается при помощи граничного условия второго рода для ребра. Объемная плотность тепловыделения, заданная для блока модели, соответствует объемному источнику тепла.

4.5 Граничные условия

Следующие виды граничных условий могут быть заданы на внешних и внутренних границах расчетной области.

Условие заданной температуры задает на ребре или в вершине модели известное значение температуры T_0 (например, при интенсивном омывании поверхности жидкостью постоянной температуры). Значение T_0 на ребре может быть задано в виде линейной функции координат. Параметры задающей функции могут меняться от ребра к ребру, но должны быть согласованы так, чтобы функция T_0 не претерпевала разрывов в точках соприкосновения ребер. Этот вид граничного условия иногда называют *условием первого рода*.

Условие заданного теплового потока описывается следующими выражениями:

$$\begin{aligned} F_n &= -q_s && \text{на внешних границах,} \\ F_n^+ - F_n^- &= -q_s && \text{на внутренних границах,} \end{aligned}$$

где F_n - нормальная компонента вектора плотности теплового потока, индексы "+" и "-" означают "слева от границы" и "справа от границы" соответственно. Для внутренней границы q_s означает поверхностную мощность источника, для внешней - известное значение теплового потока через границу. Если q_s равно нулю, граничное условие называется однородным. Однородное условие второго рода на внешней границе означает отсутствие теплового потока через указанную поверхность. Однородное условие второго рода является естественным, оно устанавливается по умолчанию на всех тех сторонах, составляющих внешнюю границу, где явно не указано иное граничное условие.

Этот вид граничного условия употребляется в двух случаях: на плоскости симметрии задачи (если ввиду симметричности геометрии и источников задача решается только на части области), а также для описания адиабатической границы.

Этот вид граничного условия иногда называют *граничным условием второго рода*.

Граничное условие конвекции может быть задано на внешней границе модели. Оно описывает конвективный теплообмен и определяется следующим образом:

$$Fn = \alpha(T - T_0),$$

где α - коэффициент теплоотдачи, и T_0 - температура окружающей среды.

Параметры α и T_0 могут меняться от ребра к ребру.

Граничное условие этого типа иногда называют ***граничным условием третьего рода***.

Граничное условие радиации может быть задано на внешней границе модели.

Оно описывает радиационный теплообмен и определяется следующим образом:

$$F_n = k_{SB} (T^4 - T_o^4),$$

где k_{SB} - константа Стефана-Больцмана, β - коэффициент поглощения поверхности, и T_0 - температура поглощающей среды. Параметры β и T_0 могут меняться от ребра к ребру.

Вычисляемые физические величины

При анализе результатов расчета температурного поля ELCUT позволяет оперировать со следующими локальными и интегральными физическими величинами.

Локальные величины:

- температура T ; вектор плотности теплового потока $F = -\lambda \text{ grad } T$.

Интегральные величины:

- Поток тепла через заданную поверхность:

$$\Phi = \int F n ds ,$$

где n - единичный вектор нормали к поверхности. Поверхность интегрирования задается контуром в плоскости модели, состоящим из отрезков и дуг окружностей.

Важным параметром при решении является выбор необходимой степени точности решения задачи. Выбор большей точности значительно увеличивает время на решение задачи.

4.6 Расчет эквивалентного коэффициента теплопроводности воздушной прослойки

После формирования модели и ввода всех исходных данных и граничных условий проводится решение задачи в ELCUT, в результате которого получают интересные нас данные: величина тепловых потерь, максимальная и минимальная температуры поверхности кабеля и гофрированной трубы, средняя температура воздушной прослойки. Эти числовые данные используются в блоке аналитических выражений для расчета эквивалентного коэффициента теплопроводности воздушной прослойки $\lambda_{\text{ЭКВ.ВОЗД.}}$. Полученное значение указанного коэффициента возвращалось в ELCUT, где повторно проводился расчет с новым значением $\lambda_{\text{ЭКВ.ВОЗД.}}$.

Данная операция проводилась несколько раз до тех пор, пока полученные значения двух последовательных решений не совпадали между собой с заданной точностью.

Взаимосвязь ELCUT с блоком аналитических выражений поясняет рис.2

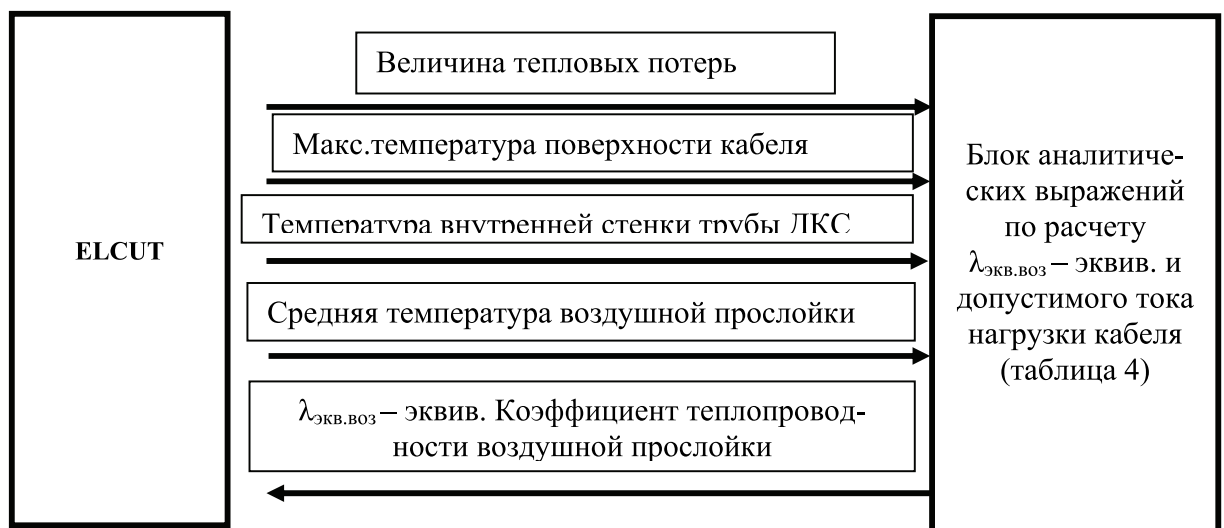


Рис.2 - Взаимосвязь программы ELCUT с блоком аналитических выражений по расчету $\lambda_{\text{ЭКВ.ВОЗ}}$ и допустимого тока нагрузки кабеля

Поскольку при прокладке кабеля в трубе температура воздуха в трубе изначально неизвестна, то невозможно заранее определить и допустимый ток, а следовательно, и тепловыделение кабеля и температурный режим воздушной прослойки.

Тепловыделение кабелей, проложенных в трубах, происходит в условиях замкнутого воздушного пространства. В этих условиях следует учитывать термическое сопротивление воздушной прослойки, которое при известных условиях может оказать заметное влияние на величину теплового потока через прослойку и трубу ДКС, а также на формирование температурного режима внутри трубы. При этом температура воздуха вокруг кабеля может существенно отличаться от температуры грунта. Это потребует изменения величины допустимого тока в кабеле, по сравнению с кабелем, проложенным в воздухе при температуре $+25^{\circ}\text{C}$.

В процессе теплообмена между нагретым кабелем и воздушной прослойкой участвуют все три вида передачи тепла: теплопроводность, конвекция и излучение, причем степень участия их в теплопередаче различна. Доля, приходящаяся на собственно теплопроводность воздуха, мала и заметна лишь в тонких прослойках воздуха, что характерно для случаев почти полного заполнения поперечного сечения трубы кабелем. Это наблюдается, когда отношение площади поперечного сечения кабеля к площади поперечного сечения трубы составляет не менее 0,7. Влияние конвекции и излучения в этом случае невелико. Доля передачи тепла конвекцией возрастает с увеличением прослойки, но снижается с ростом температуры. Передача тепла излучением не зависит от величины прослойки, но возрастает с повышением температуры.

Практические тепловые расчеты с воздушными прослойками выполняются с использованием так называемого эквивалентного коэффициента теплопроводности прослойки $\lambda_{\text{экв.возд.}}$. Этот коэффициент соединяет действие всех трех видов теплопередачи в одну расчетную величину.

Эквивалентный коэффициент теплопроводности воздушной прослойки $\lambda_{\text{экв.возд.}}$ выражается как сумма двух слагаемых: конвекции λ_k (учитывающего также собственно теплопроводность воздуха в прослойке), и излучения λ_u :

$$\lambda_{\text{экв.возд.}} = \lambda_k + \lambda_u.$$

Коэффициент теплопроводности конвекцией, Вт/(м·К) определяется из выражения,

$$\lambda_k = \varepsilon_k \cdot \lambda_{\text{воз}},$$

где ε_k - коэффициент конвекции, безразмерный
 $\lambda_{\text{воз}}$ - коэффициент теплопроводности воздуха.

$$\varepsilon_k = A \sqrt[4]{\delta^3 \cdot \Delta t},$$

где Δt - перепад температур в воздушной прослойке, °С;

- внутри трубы $\Delta t = t_1 - t_2$,

где t_1 и t_2 - температура поверхности кабеля и тепловоспринимающей внутренней поверхности стенки трубы, °С

Для решения этой задачи необходимо задаваться температурами t_1 и t_2 с последующим их уточнением.

δ - усредненная геометрически толщина воздушной прослойки

внутри трубы - оболочки, м:

- для одиночного кабеля D в трубе:

$$\delta = \frac{D_1^2 - D_0^2}{2 \cdot (D_1 + D_0)} = \frac{D_1 - D_0}{2},$$

- для трех кабелей в трубе:

$$\delta = \frac{D_1 - D_{\text{опис}}}{2},$$

D_1 - внутренний диаметр гофрированной трубы;

$D_{\text{опис}}$ - диаметр описанной окружности трех кабелей

$$D_{\text{опис}} = D_0 \left(1 + \frac{1}{\cos 30} \right),$$

Для одинакового диаметра всех трех кабелей

$$D_{\text{опис}} = 2,155 D_0$$

$\delta_{реб}$ – усредненная толщина воздушной прослойки в ребре принималась:

$$\delta_{реб} = 0,7 h_{гоф}$$

0,7 – учитывает усредненное по высоте ребра (с учетом торца ребра)

расстояние от основания ребра.

A – определяется физическими свойствами воздуха

$$A = 0,18 \cdot \sqrt[4]{\frac{\beta \cdot g}{a \cdot \nu}} = \frac{0,319}{\sqrt[4]{(t + 273) \cdot a \cdot \nu}},$$

где ν -коэф. кинематической вязкости, a -коэф. температуропроводности.

Значения « A » приведены в таблице [5].

Если вычисленная величина ε_k оказывается меньше 1 (при малых толщинах прослойки), то принимают $\lambda_k = \lambda_{воз}$ - как для неподвижного воздуха.

Коэффициент теплопроводности излучением $\lambda_{л}$ для цилиндрической воздушной прослойки в трубе, Вт/(м·К),

$$\lambda_{\varepsilon} = \alpha_{\varepsilon} \cdot \frac{D_0}{2} \cdot \ln \frac{D_1}{D_0},$$

где D_0 и D_1 - диаметр внутренней и наружной поверхности прослойки, м;

α_{ε} - коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(м²·К).

$$\alpha_{\varepsilon} = \frac{C_n \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{t_1 - t_2}$$

где T_1 и T_2 – температура абсолютная поверхности кабеля и тепловоспринимающей стенки трубы, °К,

$$T_1 = t_1 + 273,$$

$$T_2 = t_2 + 273,$$

C_n – коэффициент взаимного излучения (обеих поверхностей), Вт/(м²·К).

$$C_n = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_s} \right)},$$

где C_1 , C_2 и C_s – коэффициенты излучения поверхностей кабеля, стенки и абсолютно черного тела, $C_s=5,77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Для стенки пластмассовой трубы принято [7] $C_2=5,19$, для кабеля $C_1=4,62$.

Первоначально для приближенного определения λ_9 при $C=4,7 \div 5,3$ можно воспользоваться графиком (рис 4-5 из [5]).

Расчет эквивалентного коэффициента теплопроводности воздушной прослойки рассчитывался в программе EXCEL по выше приведенным формулам.

Таблица 4. Расчет эквивалентного коэффициента теплопроводности воздушной прослойки $\lambda_{\text{экв.возд.}}$ для кабеля марки АВВГ сечением 120 мм² в трубе 200 мм

Расчетные величины	Значения
t - средняя температура прослойки	24
δ - усредненная геометрическая толщина воздушной прослойки, $\delta = (D_{\text{труб}} - D_{\text{каб}})/2$	0,0645
$\lambda_{\text{воз}}$ - удельная теплопроводность воздуха	0,027
$\lambda_{\text{к}}$ - коэффициент теплопроводности конвекцией, $\lambda_{\text{к}} = \varepsilon^* \lambda_{\text{воз}}$	0,104221
C_1 - коэффициент излучения кабеля	4,6
C_2 - коэффициент излучения трубы	5,2
C_s - коэффициент излучения абсолютно черного тела	5,77
$D_{\text{каб}}$ - диаметр кабеля	0,043
$F_{\text{к}}$ - площадь поверхности кабеля, $F_{\text{к}} = \pi \cdot D_{\text{каб}} \cdot l$	0,135088
$D_{\text{труб}}$ - диаметр трубы	0,172
$F_{\text{тр}}$ - площадь поверхности трубы, $F_{\text{тр}} = \pi \cdot D_{\text{труб}} \cdot l$	0,540354
$t_{\text{к}}$ - температура на поверхности кабеля	60
$t_{\text{тр}}$ - температура на поверхности трубы	40
Δt - перепад температуры на воздушной прослойке, $\Delta t = t_{\text{к}} - t_{\text{тр}}$	20
ν - коэффициент кинематической вязкости	2,43E-05
A - коэффициент температуропроводности	3,47E-05
A - вспомогательный коэффициент, $A = 0,319/((t_{\text{ср просл}} + 273) \cdot a \cdot \nu)^{0,25}$	14,26141
$\alpha_{\text{изл}}$ - коэффициент теплоотдачи излучением $\alpha_{\text{изл}} = C_{\text{п}}(((t_{\text{к}} + 273)/100)^4 - ((t_{\text{тр}} + 273)/100)^4)/\Delta t$	
$\lambda_{\text{изл}}$ - коэффициент Теплопроводности излучением $\lambda_{\text{изл}} = \alpha_{\text{изл}} \cdot D_{\text{каб}}/2 \cdot \ln(D_{\text{труб}}/D_{\text{каб}})$	
$\lambda_{\text{ЭКВ}}$ - эквивалентный коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{ЭКВ}} = \lambda_{\text{к}} + \lambda_{\text{изл}}$	0,104221
$C_{\text{п}}$ - приведенный коэффициент излучения, $C_{\text{п}} = 1/(1/C_1 + D_{\text{каб}}/D_{\text{труб}}(1/C_2 - 1/C_s))$	0,217167

5 Описание расчетных моделей кабелей

На первом этапе работы с программой ELCUT создается исследуемая модель кабеля, расположенного в гофрированной трубе ДКС. На рис 3. представлено поперечное сечение бронированного 3-х жильного кабеля с нулевым проводом и ПВХ изоляцией.

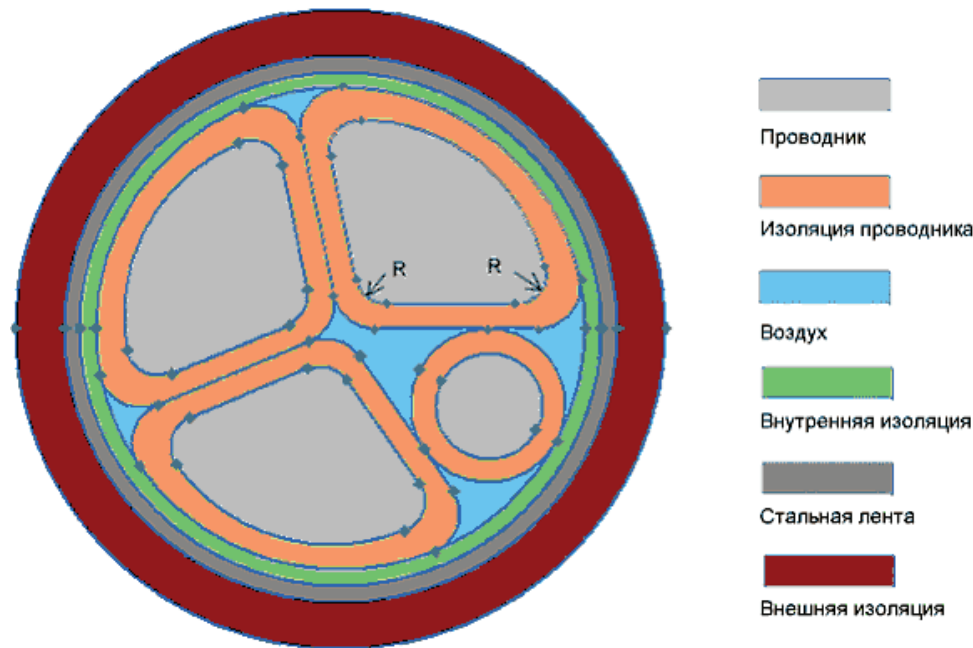


Рис 3 - Поперечное сечение бронированного 3-х жильного кабеля с нулевым проводом и ПВХ изоляцией.

Кабель состоит из трех фазных проводников и одного нулевого. Все проводники алюминиевые, изолированные. Кабель в целом имеет трехслойную изоляцию – внутреннюю электрическую изоляцию: жилную и оболочку, затем защитный слой стальной ленты и внешнюю шланговую защитную изоляцию. Свободное пространство между изолированными проводниками заполнено диэлектриком, в роли которого может быть и воздух.

Параметры элементов кабеля задаются перед началом решения задачи.

5.1 Исходные данные для кабеля

Таблица 5 - Геометрические размеры проводников.

Сечение фазного провода	120 мм ²
Сечение нулевого провода	35 мм ²
Радиус скругления проводника (R)	2 мм

Таблица 6 - Геометрические параметры изоляции.

Толщина фазовой изоляции	2 мм
Толщина внутреннего слоя изоляции кабеля	1 мм
Толщина стальной ленты	1 мм
Толщина внешнего слоя изоляции кабеля	3 мм

Таблица 7 - Точность расчета.

Точность вычисления площади	0.001 мм ²
-----------------------------	-----------------------

Таблица 8 - Электрическая нагрузка.

Амплитуда фазного тока	200 А
Амплитуда фазного напряжения	6500 В
Частота тока	50 Гц
Фазовый угол тока	0 град

Таблица 9 - Физические свойства проводника.

Относительная магнитная проницаемость	1
Электрическая проводимость	36000000 См/м
Теплопроводность	140 Вт/К·м
Коэффициент теплового расширения	2.33e-5 1/К

Таблица 10 - Физические свойства стального экрана.

Относительная магнитная проницаемость	1000
Электрическая проводимость	6000000 См/м
Теплопроводность	85 Вт/К·м

Таблица 11 - Физические свойства изоляции.

	Проводниковая	Внутренняя	Внешняя	
Относительная магнитная проницаемость	1	1	1	
Электрическая проводимость	0	0	0	См/м
Диэлектрическая проницаемость	2.5	2.5	2.5	
Теплопроводность	0.04	0.04	0.04	Вт/К·м

На рисунках 4-5 представлены поперечные сечения кабелей с круглыми и секторными жилами.

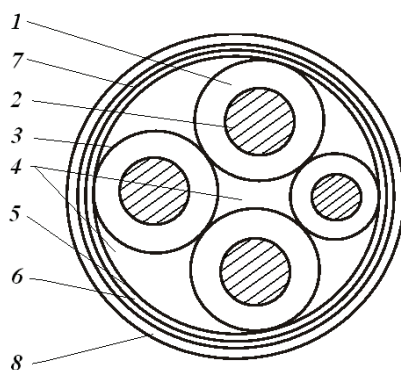


Рис.4 -Кабель с жилами круглого сечения:

1 - токопроводящая жила; 2- изоляция; 3 - обмотка прорезиненной лентой; 4 - заполнение; 5 - обмотка прорезиненной лентой; 6 - оболочка; 7 - броня; 8 - защитные покровы.

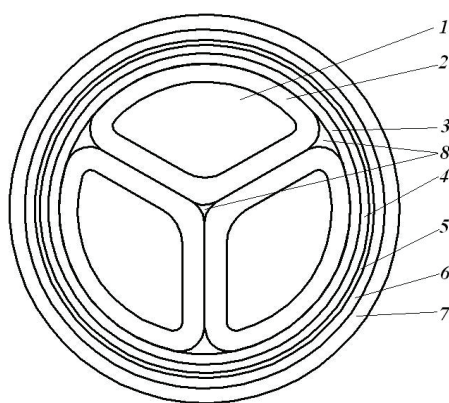


Рис.5 - Кабель с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение 1-10 кВ:

1 - токопроводящая жила; 2 - фазная изоляция; 3 - поясная изоляция; 4 - свинцовая или алюминиевая оболочка; 5 - подушка под броней; 6 - броня; 7 - защитные покровы; 8 - заполнение.

На рисунках 6-8 представлены схемы расположения кабелей в двустенных гофрированных трубах ДКС.

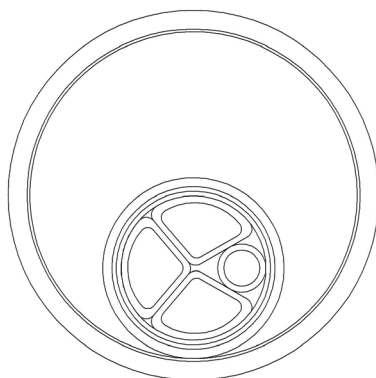


Рис.6 - Расположение одиночного кабеля в трубе ДКС

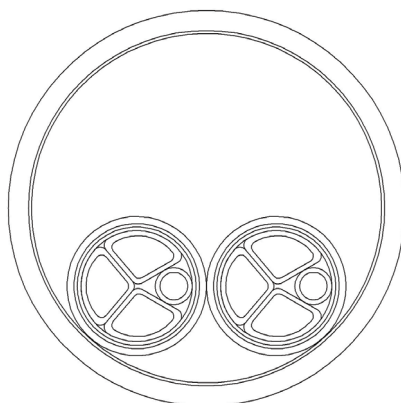


Рис.7 - Расположение двух кабелей в трубе ДКС

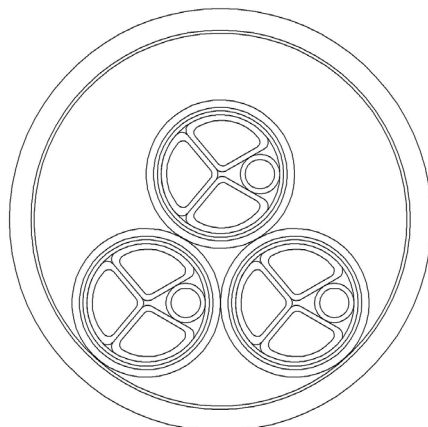


Рис.8 - Расположение трех кабелей в трубе ДКС

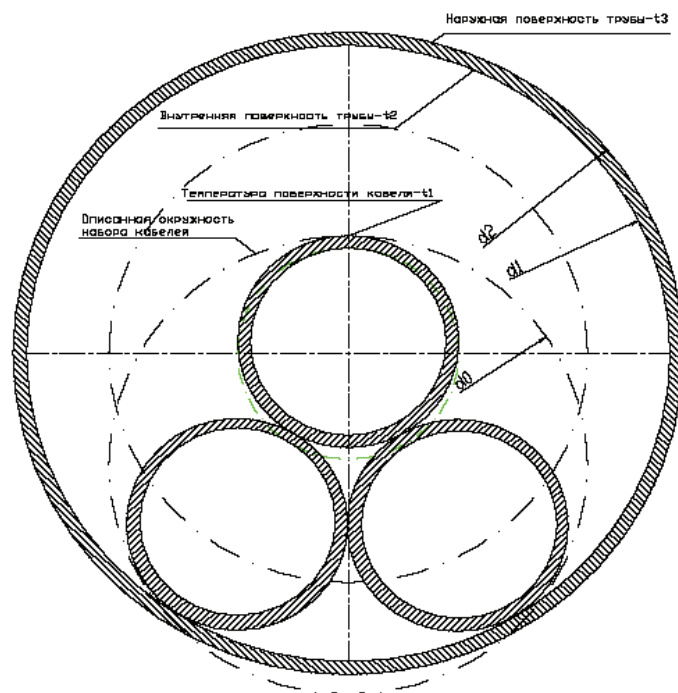


Рис.9 - Обозначение расчетных величин для трех кабелей в трубе ДКС

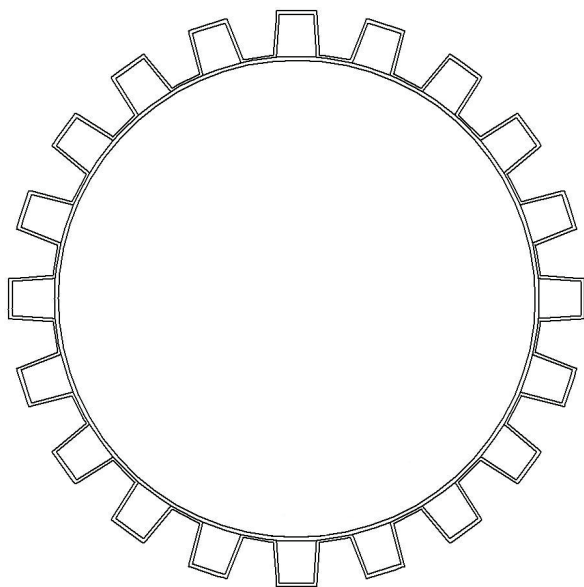


Рис.10 - Расчетная модель эквивалентной трубы ДКС

На рисунках 11 – 13 представлены расчетные модели кабелей в гофрированных трубах ДКС.

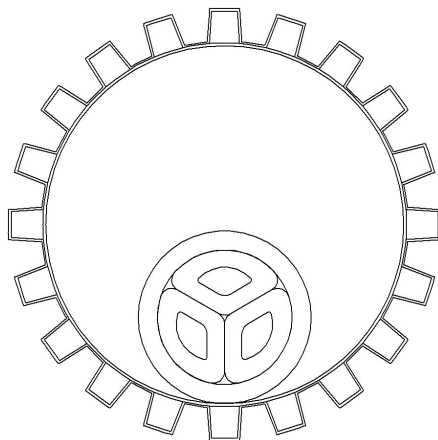


Рис.11 - Расчетная модель эквивалентной трубы ДКС с одиночным кабелем

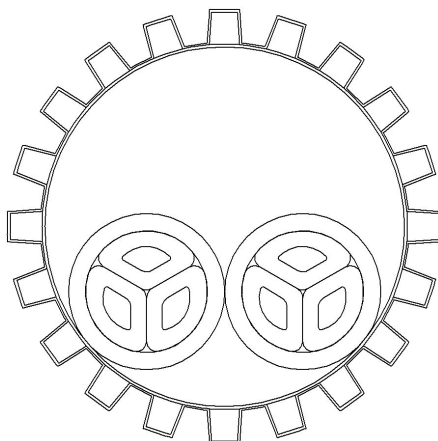


Рис.12 - Расчетная модель эквивалентной трубы ДКС с двумя кабелями

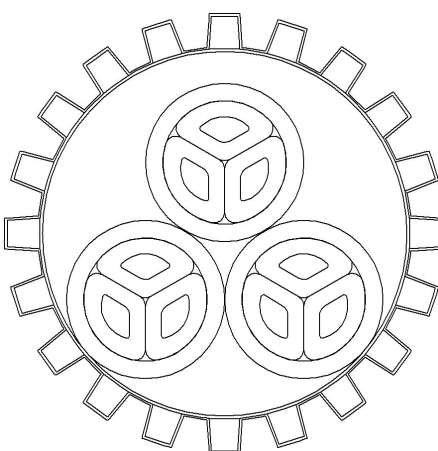


Рис.13 - Расчетная модель эквивалентной трубы ДКС с тремя кабелями

5.2 Расчет воздушной прослойки для кабелей и труб разного диаметра

Величина воздушной прослойки для одного кабеля в трубе определяется следующим образом:

$$\delta_{\text{воз}} = (d_1 - d_2)/2,$$

где d_1 – диаметр трубы, d_2 – диаметр кабеля.

Для двух кабелей в трубе диаметр эквивалентного кабеля определяется, как диаметр кабеля, имеющий площадь поперечного сечения равную сумме площадей двух кабелей,

$$d_{3\text{ экв}} = d_2 * 2^{0,5}$$

Для трех кабелей одинакового диаметра диаметр эквивалентного кабеля (диаметр описанной окружности) определяется выражением:

$$d_{4\text{ экв}} = d_o \left(1 + \frac{1}{\cos 30} \right)$$

$$d_{4\text{ экв}} = 2,155d_2$$

Ниже приводятся табличные данные по расчету величин воздушной прослойки для различного сочетания диаметров кабелей и труб, в которых они проложены. Знак минус перед значением величины воздушной прослойки говорит о том, что кабели не помещаются в данную трубу.

Таблица 12 - Величины воздушной прослойки для различного сочетания диаметров кабелей и труб кабелей ВБ6Шв, ВБ6Шв нг

Кабель ВБ6Шв, ВБ6Шв нг									
1 кабель в трубе			2 кабель в трубе			3 кабеля в трубе			
Труба d1	Кабель d2	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d3 экв	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d4 экв	S мм ² каб	δ воз.прос
50	48,4	240	-3,45	68,4	2×240	-13,5	104,3	3×240	-31,4
63	48,4	240	1,55	68,4	2×240	-8,5	104,3	3×240	-26,4
75	48,4	240	7,05	68,4	2×240	-3,0	104,3	3×240	-20,9
90	48,4	240	14,3	68,4	2×240	4,3	104,3	3×240	-13,7
110	48,4	240	22,8	68,4	2×240	12,8	104,3	3×240	-5,2
125	48,4	240	29,3	68,4	2×240	19,3	104,3	3×240	1,3
140	48,4	240	35,8	68,4	2×240	25,8	104,3	3×240	7,8
160	48,4	240	44,3	68,4	2×240	34,3	104,3	3×240	16,3
200	48,4	240	61,8	68,4	2×240	51,8	104,3	3×240	33,8
1 кабель в трубе			2 кабель в трубе			3 кабеля в трубе			
Труба d1	Кабель d2	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d3 экв	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d4 экв	S мм ² каб	δ воз.прос
50	43,5	185	-1,0	61,5	2×185	-10,0	93,7	3×185	-26,1
63	43,5	185	4,0	61,5	2×185	-5,0	93,7	3×185	-21,1
75	43,5	185	9,5	61,5	2×185	0,5	93,7	3×185	-15,6
90	43,5	185	16,8	61,5	2×185	7,7	93,7	3×185	-8,4
110	43,5	185	25,3	61,5	2×185	16,2	93,7	3×185	0,1
125	43,5	185	31,8	61,5	2×185	22,7	93,7	3×185	6,6
140	43,5	185	38,3	61,5	2×185	29,2	93,7	3×185	13,1
160	43,5	185	46,8	61,5	2×185	37,7	93,7	3×185	21,6
200	43,5	185	64,3	61,5	2×185	55,2	93,7	3×185	39,1
1 кабель в трубе			2 кабель в трубе			3 кабеля в трубе			
Труба d1	Кабель d2	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d3 экв	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d4 экв	S мм ² каб	δ воз.прос
50	39,8	150	0,85	56,3	2×150	-7,4	85,8	3×150	-22,1
63	39,8	150	5,85	56,3	2×150	-2,4	85,8	3×150	-17,1
75	39,8	150	11,35	56,3	2×150	3,1	85,8	3×150	-11,6
90	39,8	150	18,6	56,3	2×150	10,4	85,8	3×150	-4,4
110	39,8	150	27,1	56,3	2×150	18,9	85,8	3×150	4,1
125	39,8	150	33,6	56,3	2×150	25,4	85,8	3×150	10,6
140	39,8	150	40,1	56,3	2×150	31,9	85,8	3×150	17,1
160	39,8	150	48,6	56,3	2×150	40,4	85,8	3×150	25,6
200	39,8	150	66,1	56,3	2×150	57,9	85,8	3×150	43,1

Труба d1	1 кабель в трубе			2 кабель в трубе			3 кабель в трубе		
	Кабель d2	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d3 экв	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d4 экв	S мм ² каб	δ воз.прос
50	36,6	120	2,45	51,8	2×120	-5,1	78,9	3×120	-18,7
63	36,6	120	7,45	51,8	2×120	-0,1	78,9	3×120	-13,7
75	36,6	120	12,95	51,8	2×120	5,4	78,9	3×120	-8,2
90	36,6	120	20,2	51,8	2×120	12,6	78,9	3×120	-0,9
110	36,6	120	28,7	51,8	2×120	21,1	78,9	3×120	7,6
125	36,6	120	35,2	51,8	2×120	27,6	78,9	3×120	14,1
140	36,6	120	41,7	51,8	2×120	34,1	78,9	3×120	20,6
160	36,6	120	50,2	51,8	2×120	42,6	78,9	3×120	29,1
200	36,6	120	67,7	51,8	2×120	60,1	78,9	3×120	46,6
Труба d1	1 кабель в трубе			2 кабель в трубе			3 кабель в трубе		
	Кабель d2	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d3 экв	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d4 экв	S мм ² каб	δ воз.прос
50	34,2	95	3,65	48,4	2×95	-3,4	73,7	3×95	-16,1
63	34,2	95	8,65	48,4	2×95	1,6	73,7	3×95	-11,1
75	34,2	95	14,15	48,4	2×95	7,1	73,7	3×95	-5,6
90	34,2	95	21,4	48,4	2×95	14,3	73,7	3×95	1,6
110	34,2	95	29,9	48,4	2×95	22,8	73,7	3×95	10,1
125	34,2	95	36,4	48,4	2×95	29,3	73,7	3×95	16,6
140	34,2	95	42,9	48,4	2×95	35,8	73,7	3×95	23,1
160	34,2	95	51,4	48,4	2×95	44,3	73,7	3×95	31,6
200	34,2	95	68,9	48,4	2×95	61,8	73,7	3×95	49,1
Труба d1	1 кабель в трубе			2 кабель в трубе			3 кабель в трубе		
	Кабель d2	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d3 экв	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d4 экв	S мм ² каб	δ воз.прос
50	30,9	70	5,3	43,7	2×70	-1,1	66,6	3×70	-12,5
63	30,9	70	10,3	43,7	2×70	3,9	66,6	3×70	-7,5
75	30,9	70	15,8	43,7	2×70	9,4	66,6	3×70	-2,0
90	30,9	70	23,05	43,7	2×70	16,7	66,6	3×70	5,2
110	30,9	70	31,55	43,7	2×70	25,2	66,6	3×70	13,7
125	30,9	70	38,05	43,7	2×70	31,7	66,6	3×70	20,2
140	30,9	70	44,55	43,7	2×70	38,2	66,6	3×70	26,7
160	30,9	70	53,05	43,7	2×70	46,7	66,6	3×70	35,2
200	30,9	70	70,55	43,7	2×70	64,2	66,6	3×70	52,7
Труба d1	1 кабель в трубе			2 кабель в трубе			3 кабель в трубе		
	Кабель d2	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d3 экв	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d4 экв	S мм ² каб	δ воз.прос
50	27,6	50	6,95	39,0	2×50	1,2	59,5	3×50	-9,0
63	27,6	50	11,95	39,0	2×50	6,2	59,5	3×50	-4,0
75	27,6	50	17,45	39,0	2×50	11,7	59,5	3×50	1,5
90	27,6	50	24,7	39,0	2×50	19,0	59,5	3×50	8,7

110	27,6	50	33,2	39,0	2×50	27,5	59,5	3×50	17,2
125	27,6	50	39,7	39,0	2×50	34,0	59,5	3×50	23,7
140	27,6	50	46,2	39,0	2×50	40,5	59,5	3×50	30,2
160	27,6	50	54,7	39,0	2×50	49,0	59,5	3×50	38,7
200	27,6	50	72,2	39,0	2×50	66,5	59,5	3×50	56,2
3 кабеля в трубе									
1 кабель в трубе									
Труба d1	Кабель d2	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d3 экв	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d4 экв	S мм ² каб	δ воз.прос
50	25,8	35	7,85	36,5	2×35	2,5	55,6	3×35	-7,1
63	25,8	35	12,85	36,5	2×35	7,5	55,6	3×35	-2,1
75	25,8	35	18,35	36,5	2×35	13,0	55,6	3×35	3,4
90	25,8	35	25,6	36,5	2×35	20,3	55,6	3×35	10,7
110	25,8	35	34,1	36,5	2×35	28,8	55,6	3×35	19,2
125	25,8	35	40,6	36,5	2×35	35,3	55,6	3×35	25,7
140	25,8	35	47,1	36,5	2×35	41,8	55,6	3×35	32,2
160	25,8	35	55,6	36,5	2×35	50,3	55,6	3×35	40,7
200	25,8	35	73,1	36,5	2×35	67,8	55,6	3×35	58,2
3 кабеля в трубе									
2 кабеля в трубе									
Труба d1	Кабель d2	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d3 экв	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d4 экв	S мм ² каб	δ воз.прос
50	19,7	16	10,9	27,9	2×16	6,8	42,46926	3×16	-0,5
63	19,7	16	15,9	27,9	2×16	11,8	42,46926	3×16	4,5
75	19,7	16	21,4	27,9	2×16	17,3	42,46926	3×16	10,0
90	19,7	16	28,65	27,9	2×16	24,6	42,46926	3×16	17,3
110	19,7	16	37,15	27,9	2×16	33,1	42,46926	3×16	25,8
125	19,7	16	43,65	27,9	2×16	39,6	42,46926	3×16	32,3
140	19,7	16	50,15	27,9	2×16	46,1	42,46926	3×16	38,8
160	19,7	16	58,65	27,9	2×16	54,6	42,46926	3×16	47,3
200	19,7	16	76,15	27,9	2×16	72,1	42,46926	3×16	64,8
3 кабеля в трубе									
1 кабель в трубе									
Труба d1	Кабель d2	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d3 экв	S мм ² каб	δ воз.прос	Кабель d4 экв	S мм ² каб	δ воз.прос
50	17,7	10	11,9	25,0	2×10	8,2	38,16	3×10	1,7
63	17,7	10	16,9	25,0	2×10	13,2	38,16	3×10	6,7
75	17,7	10	22,4	25,0	2×10	18,7	38,16	3×10	12,2
90	17,7	10	29,7	25,0	2×10	26,0	38,16	3×10	19,4
110	17,7	10	38,2	25,0	2×10	34,5	38,16	3×10	27,9
125	17,7	10	44,7	25,0	2×10	41,0	38,16	3×10	34,4
140	17,7	10	51,2	25,0	2×10	47,5	38,16	3×10	40,9
160	17,7	10	59,7	25,0	2×10	56,0	38,16	3×10	49,4
200	17,7	10	77,2	25,0	2×10	73,5	38,16	3×10	66,9

В таблицах 13 – 21 представлены результаты расчета допустимых токовых нагрузок для кабелей (1 кВ) с поливинилхлоридной изоляцией (ПВХ) ВВГ, АВВГ сечением $10 - 240 \text{ мм}^2$, проложенных в трубах производства ЗАО «ДКС» одиночно и группой по 2 и 3 кабеля в одной трубе.

В таблицах 22 – 30 представлены результаты расчета допустимых токовых нагрузок для кабелей (1 кВ) с изоляцией из сшитого полиэтилена ПвВГ, АпвВГ сечением $10 - 240 \text{ мм}^2$, проложенных в трубах производства ЗАО «ДКС» одиночно и группой по 2 и 3 кабеля в одной трубе.

На рисунках 14 – 41 полученные результаты представлены в виде графиков, позволяющие наглядно видеть отличие допустимых токовых нагрузок кабелей, проложенных в двустенных гофрированных трубах ЗАО «ДКС» от вариантов прокладки кабелей в земле и в воздухе без труб.

На рисунках 14 - 22 для кабелей с ПВХ изоляцией, на рисунках 23 -32 для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Нагрузку трехжильных силовых кабелей на напряжение 3 кВ с поясной изоляцией принимают равной нагрузке трехжильных кабелей 1 кВ.(Макаров т.3 стр.134).

В таблицах 31– 39 представлены результаты расчета допустимых длительных токовых нагрузок для кабелей (6 кВ) с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке сечением $10 - 240 \text{ мм}^2$, прокладываемых в трубах производства ЗАО «ДКС» одиночно и группой по 2 и 3 кабеля в одной трубе.

На рисунках 33 – 41 полученные результаты представлены в виде графиков, позволяющие наглядно видеть отличие допустимых токовых нагрузок кабелей, проложенных в двустенных гофрированных трубах ЗАО «ДКС» от вариантов прокладки кабелей в земле и в воздухе без труб.

Таблица 13

Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ВВГ, АВВГ, А										
Сечение и кол. жил ка- беля	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø50 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø50 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	77	66	54,0	49,1	39,5	59	50	42,4	38,55	31
3x16	100	87	76,5	72,6	49,8	77	67	60	55	39,1
3x25	130	115	102	100,7		100	88	80	75	
3x35	158	141	135,1	135,5		121	109	102,5	95	
3x50	192	177	172,1			147	136	130,8		
3x70	273	226	211,6			178	167	160,8		
3x95	280	274	257,5			212	204	194,2		
3x120	321	321	311,1			241	236	229,2		
3x150	363	370				274	273			
3x185	406	421				308	313			
3x240	468	499				355	369			

Таблица 14

Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ВВГ, АВВГ, А											
Сечение и кол.жил кабеля	С медными жилами					С алюминиевыми жилами					
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø63 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø63 мм			
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.	
3х10	77	66	64,2	48,7	36,8	59	50	50,4	38,22	28,94	
3х16	100	87	87,9	66,3	52,6	77	67	69	52	41,3	
3х25	130	115	112,2	86,7	66,3	100	88	88	68	52	
3х35	158	141	138,9	108,3	81,2	121	109	109	85	63,7	
3х50	192	177	173,4	131,9		147	136	136	103,5		
3х70	273	226	209,1			178	167	164			
3х95	280	274	247,3			212	204	194			
3х120	321	321	288,1			241	236	226			
3х150	363	370	332,7			274	273	261			
3х185	406	421				308	313				
3х240	468	499				355	369				

Таблица 15

Сечение и кол.жил кабеля	Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ВВГ, АВВГ, А									
	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø75 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø75 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	77	66	66,0	53,4	42,0	59	50	51,8	41,92	33
3x16	100	87	89,2	68,8	54,8	77	67	70	54	43
3x25	130	115	114,7	89,2	71,4	100	88	90	70	52,5
3x35	158	141	147,9	109,6	84,1	121	109	112,5	87,5	66
3x50	192	177	181,0	132,6	101,3	147	136	135	104	79,5
3x70	273	226	214,2	153,8		178	167	162,5	127,5	
3x95	280	274	246,0			212	204	191,7		
3x120	321	321	283,0			241	236	220		
3x150	363	370	322,5			274	273	253		
3x185	406	421	363,3			308	313	285		
3x240	468	499	408			355	369	320		

Таблица 16

Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ВВГ, АВВГ, А										
Сечение и кол.жил кабеля	С медными жилами				С алюминиевыми жилами					
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø90 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø90 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	77	66	65,9	54,0	43,3	59	50	51,7	42,4	34
3x16	100	87	91,8	72,6	59,9	77	67	72	57	47
3x25	130	115	122,4	91,8	76,5	100	88	93	72	60
3x35	158	141	147,9	112,2	94,5	121	109	116	88	74
3x50	192	177	182,3	135,1	112,2	147	136	140	106	88
3x70	273	226	210,3	155,5	132,6	178	167	165	126	104
3x95	280	274	247,3	178,5	155,8	212	204	194	149	122,2
3x120	321	321	285,6	204		241	236	224	173,4	
3x150	363	370	326,4	223,8		274	273	256	198,4	
3x185	406	421	369,7			308	313	290		
3x240	468	499	422,0			355	369	331		

Таблица 17

Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ВВГ, АВВГ, А										
Сечение и кол.жил кабеля	С медными жилами				С алюминиевыми жилами					
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø110 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø110 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3х10	77	66	69,1	56,1	44,6	59	50	54,27	44	35
3х16	100	87	95,6	65,0	51	77	67	75	51	40
3х25	130	115	114,7	82,8	57,3	100	88	90	65	45
3х35	158	141	147,9	100,7	68,8	121	109	116	79	54
3х50	192	177	182,3	121,1	84,1	147	136	143	95	66
3х70	273	226	214,2	144,0	98,1	178	167	168	113	77
3х95	280	274	248,6	173,4	116,0	212	204	195	136	91
3х120	321	321	286,8	204	141,5	241	236	225	160	111
3х150	363	370	331,5	235,8	169,5	274	273	260	185	133
3х185	406	421	376,1	277,0	207,8	308	313	295	217,3	163
3х240	468	499	429,0			355	369	336,5		

Таблица 18

Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ВВГ, АВВГ, А										
Сечение и кол. жил кабеля	С медными жилами				С алюминиевыми жилами					
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø125 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø125 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	77	66	70,7	54,6	41,8	59	50	55,5	42,9	32,8
3x16	100	87	94,3	72,6	54,8	77	67	74	57	43
3x25	130	115	118,5	91,8	66,3	100	88	93	73,3	54,2
3x35	158	141	150,4	114,7	86,7	121	109	118	92,5	68
3x50	192	177	187,4	137,7	106,3	147	136	147	110,8	83,4
3x70	273	226	219,3	165,7	126,2	178	167	172	134,2	99
3x95	280	274	253,7	193,8	146,6	212	204	199	155,8	115
3x120	321	321	291,9	230,7	169,5	241	236	229	183,3	135
3x150	363	370	331,5	270,3	199,7	274	273	260	212	156,7
3x185	406	421	376,1	308,5		308	313	295	242	
3x240	468	499	430,9	349,4		355	369	338	274,1	

Таблица 19

Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ВВГ, АВВГ, А										
Сечение и кол. жил кабеля	С медными жилами				С алюминиевыми жилами					
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø140 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø140 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	77	66	71,7	55,8	45,9	59	50	56,3	43,8	36
3x16	100	87	98,1	71,4	54,8	77	67	77	56	43
3x25	130	115	123,6	94,3	68,8	100	88	97	74	54
3x35	158	141	154,2	118,5	86,7	121	109	121	93	68
3x50	192	177	186,1	144,0	104,5	147	136	146	113	84,2
3x70	273	226	221,8	173,4	126,2	178	167	172,5	136	99
3x95	280	274	256,2	198,9	149,1	212	204	201	156	114,2
3x120	321	321	292,5	226,9	168,3	241	236	229,42	178	132
3x150	363	370	205,2	255	191,2	274	273	261	202,5	150
3x185	406	421	376,1	288,1	214,2	308	313	298,3	228,3	168
3x240	468	499	434,7	326,4	234,8	355	369	341	256	185,8

Таблица 20

Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ВВГ, АВВГ, А										
Сечение и кол.жил кабеля	С медными жилами				С алюминиевыми жилами					
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø160 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø160 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	77	66	70,8	58,1	45,0	59	50	55,6	45,6	35,3
3x16	100	87	96,9	71,4	57,3	77	67	75,1	59,5	45
3x25	130	115	122,4	96,9	71,4	100	88	95,5	76	56
3x35	158	141	153	118,5	89,2	121	109	116,6	95,5	70,5
3x50	192	177	182,3	146,6	112,2	147	136	143	115	88
3x70	273	226	216,7	175,9	135,1	178	167	170	138	106
3x95	280	274	258,8	205,2	160,6	212	204	201,2	161	126
3x120	321	321	296,3	238,4	189,9	241	236	232,4	187	149
3x150	363	370	340,4	276,6	216,7	274	273	267	217	170
3x185	406	421	388,8	313,6	247,3	308	313	305	246	194
3x240	468	499	439,8	350,2	284,3	355	369	345	274,7	223

Таблица 21

Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ВВГ, АВВГ, А										
Сечение и кол.жил кабеля	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø200 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø200 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	77	66	75,7	53,1	42,0	59	50	59,4	41,7	33
3x16	100	87	100,7	69,6	58,9	77	67	79	54,6	46,2
3x25	130	115	127,5	94,3	80,3	100	88	100	74	60,8
3x35	158	141	155,0	119,8	103,2	121	109	120,8	94	78,3
3x50	192	177	186,2	140,2	123,6	147	136	146	112,5	95
3x70	273	226	220,6	169,5	142,8	178	167	173	135,8	112
3x95	280	274	255,0	196,3	165,7	212	204	203,3	156,7	130
3x120	321	321	296,0	233,3	193,8	241	236	237,5	182,5	150
3x150	363	370	345,5	262,6	216,7	274	273	271	206	170
3x185	406	421	390,2	298,3	246,0	308	313	306	234	193
3x240	468	499	452,6	337,8	276,6	355	369	345	265	217

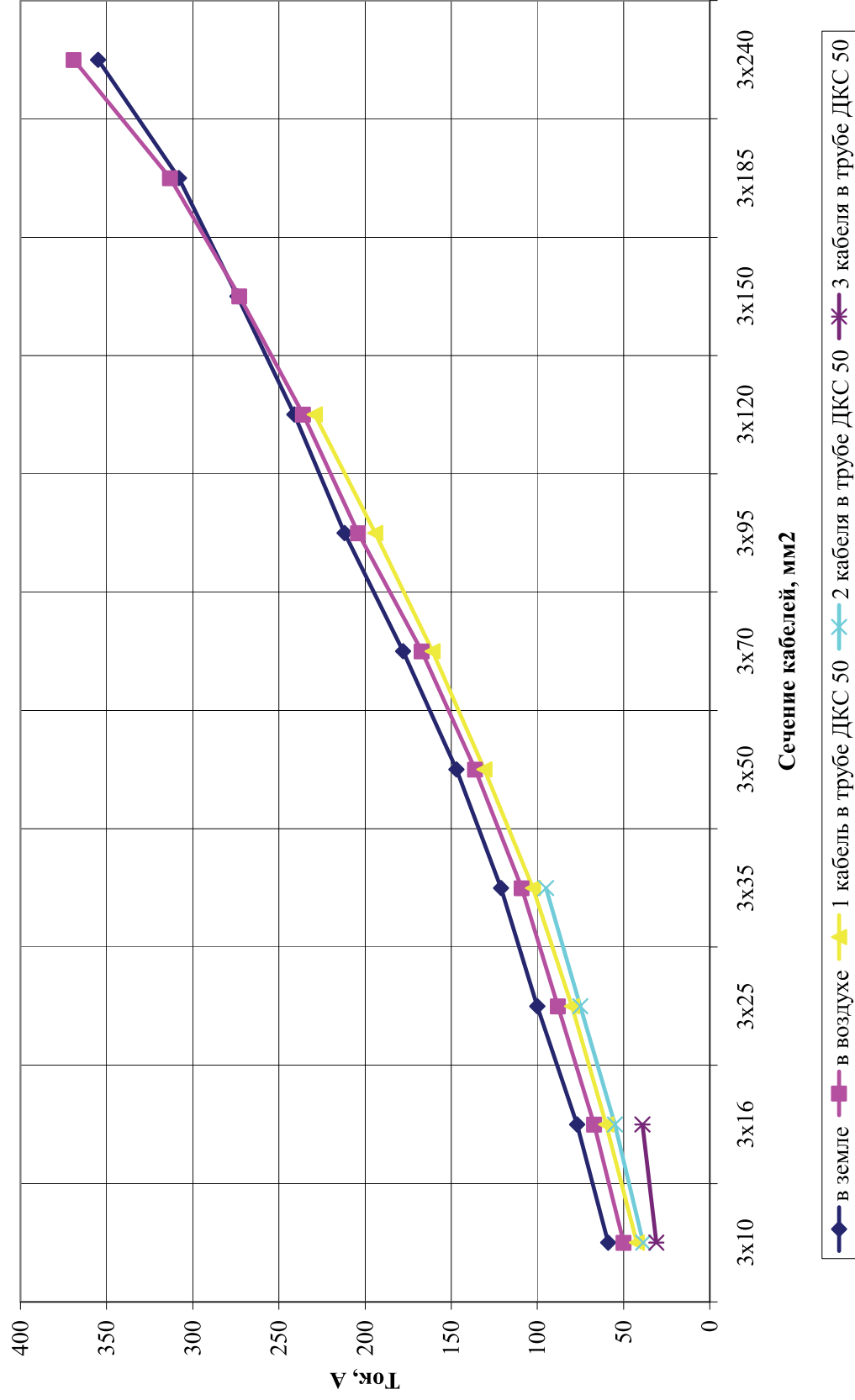


Рис.14 - Графики длительно допустимых токов кабелей ВВГ, АВВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 50 мм

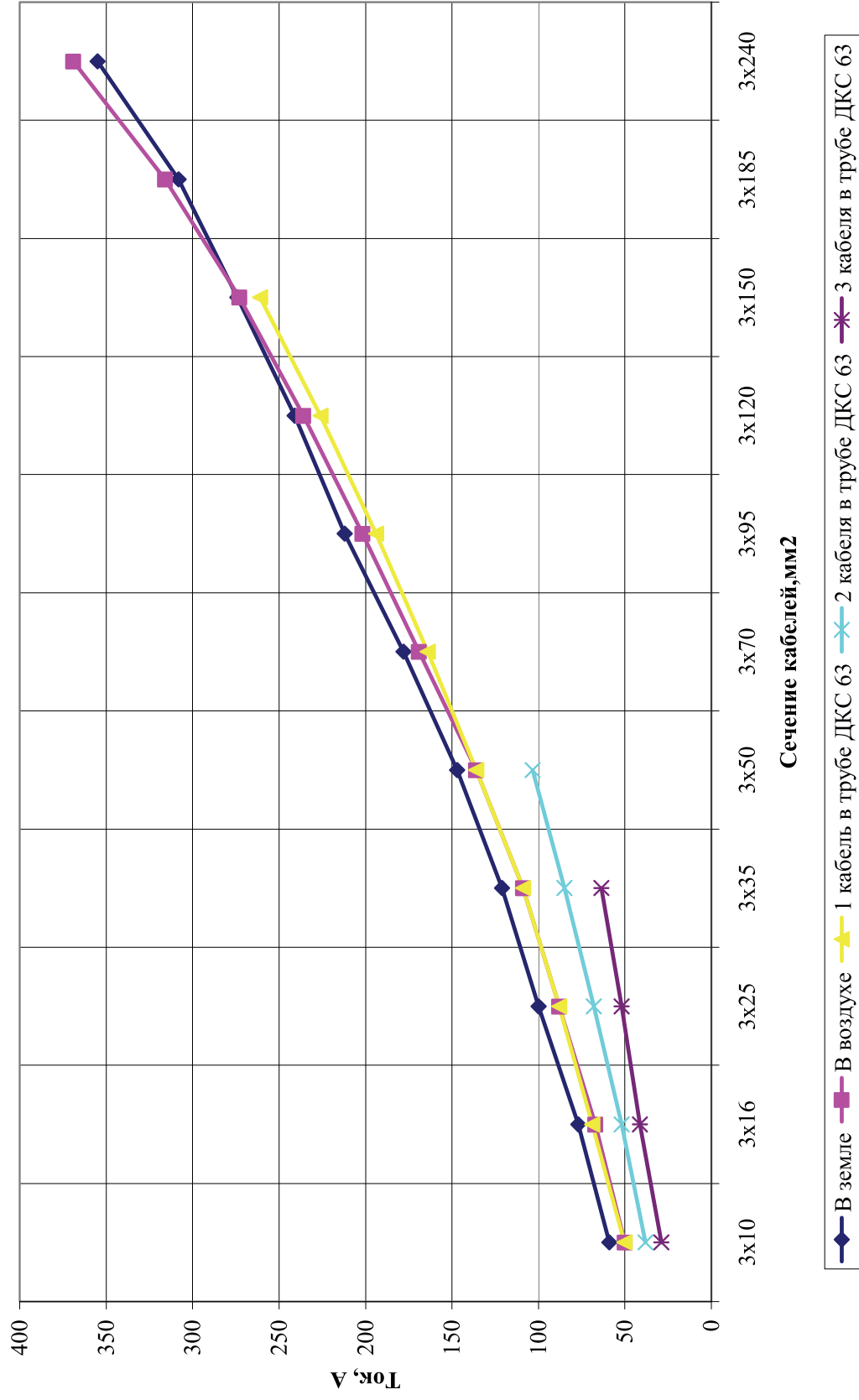


Рис.15 - Графики длительно допустимых токов кабелей ВВГ, АВВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 63 мм

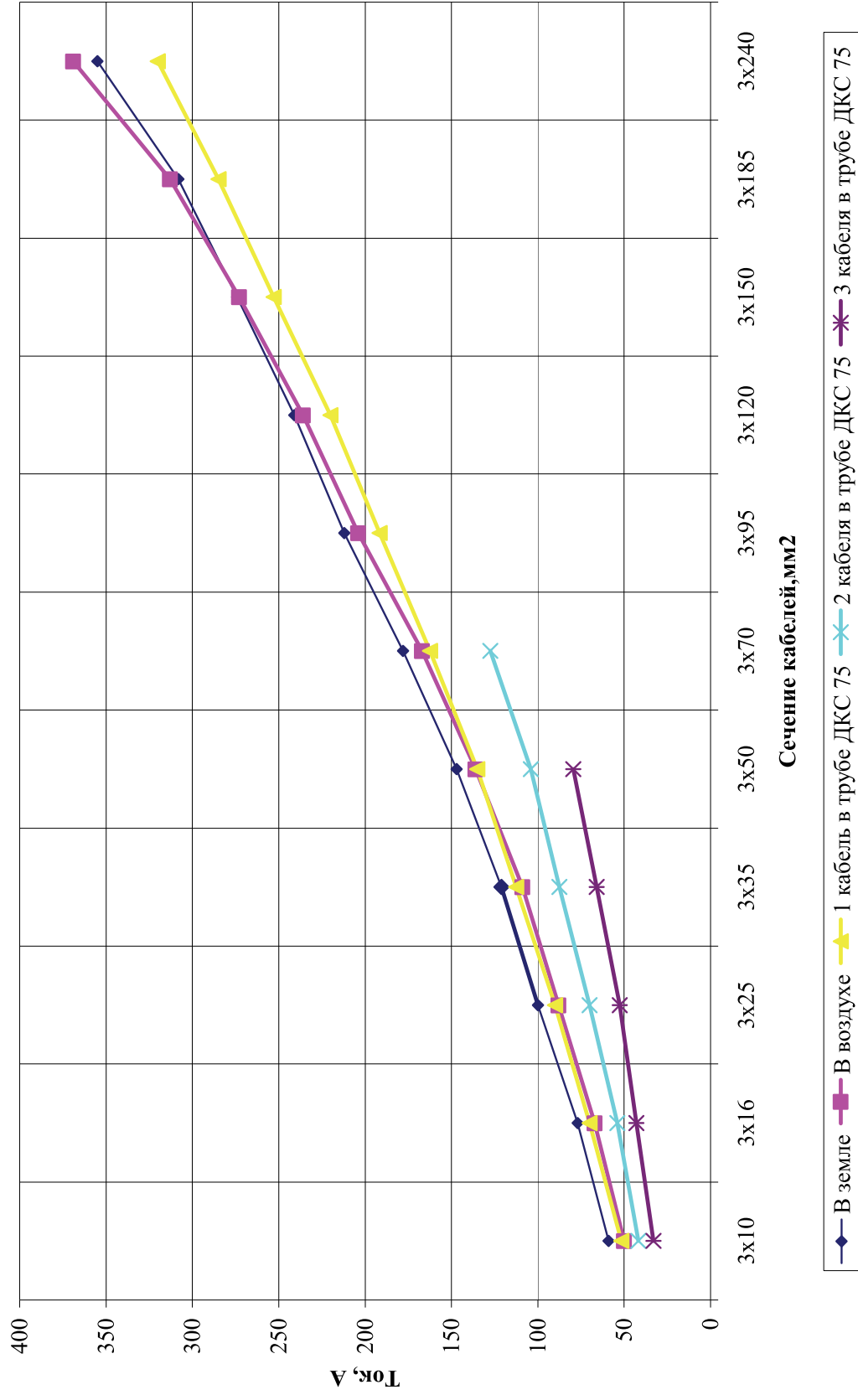


Рис.16 - Графики длительно допустимых токов кабелей ВВГ, АВВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 75 мм

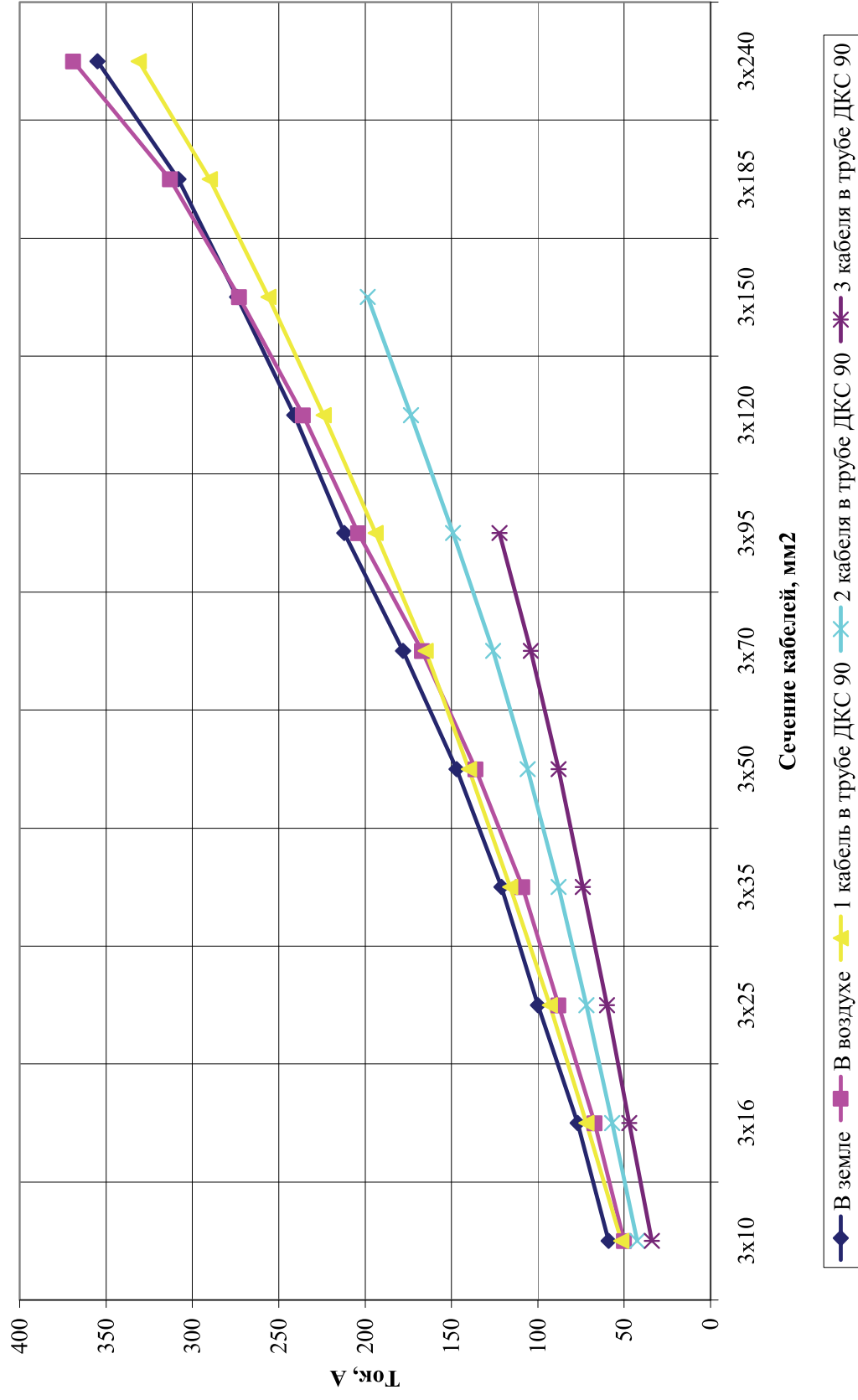


Рис.17 - Графики длительно допустимых токов кабелей ВВГ, АВВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 90 мм

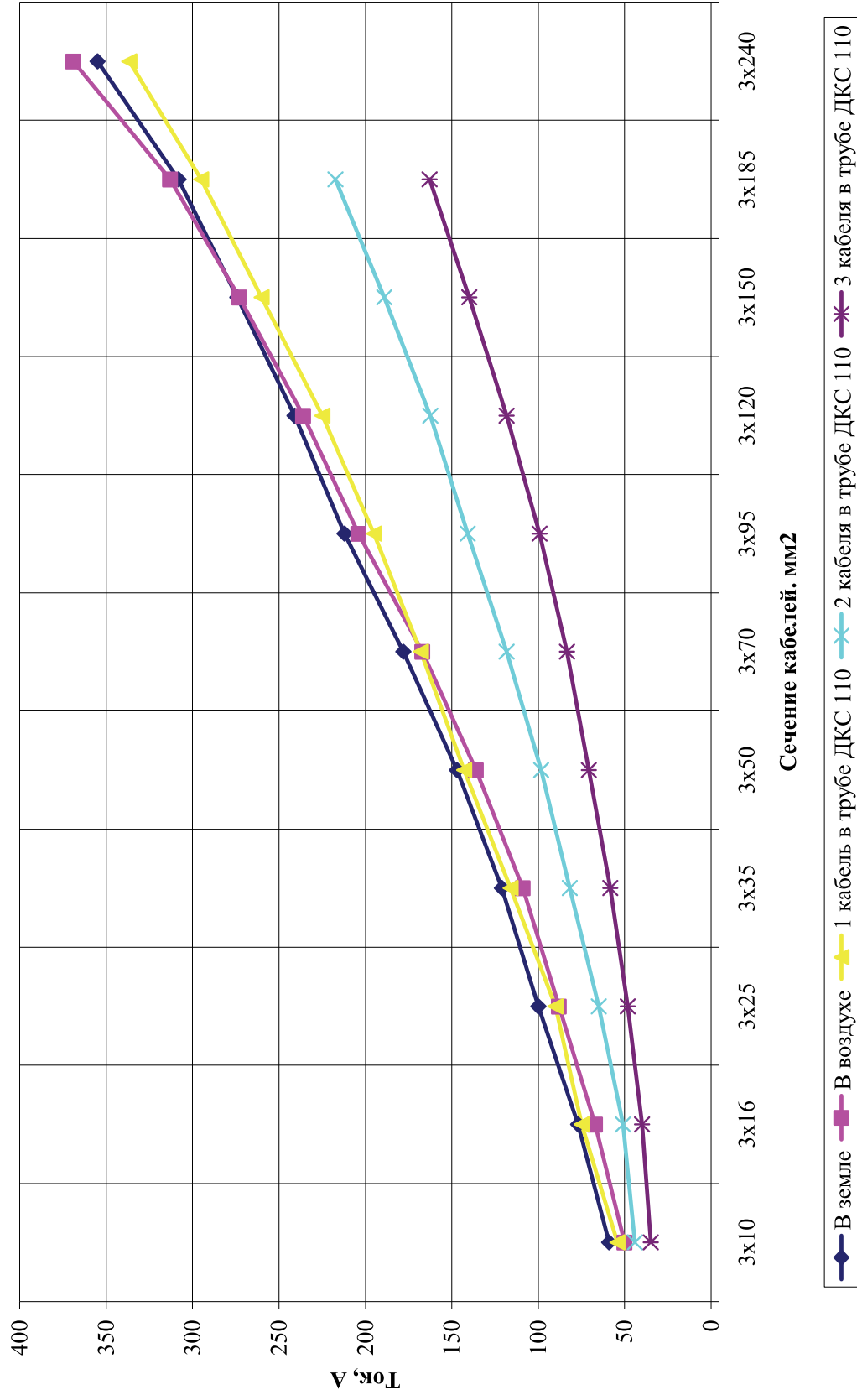


Рис. 18 - Графики длительно допустимых токов кабелей ВВГ, АВВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 110 мм

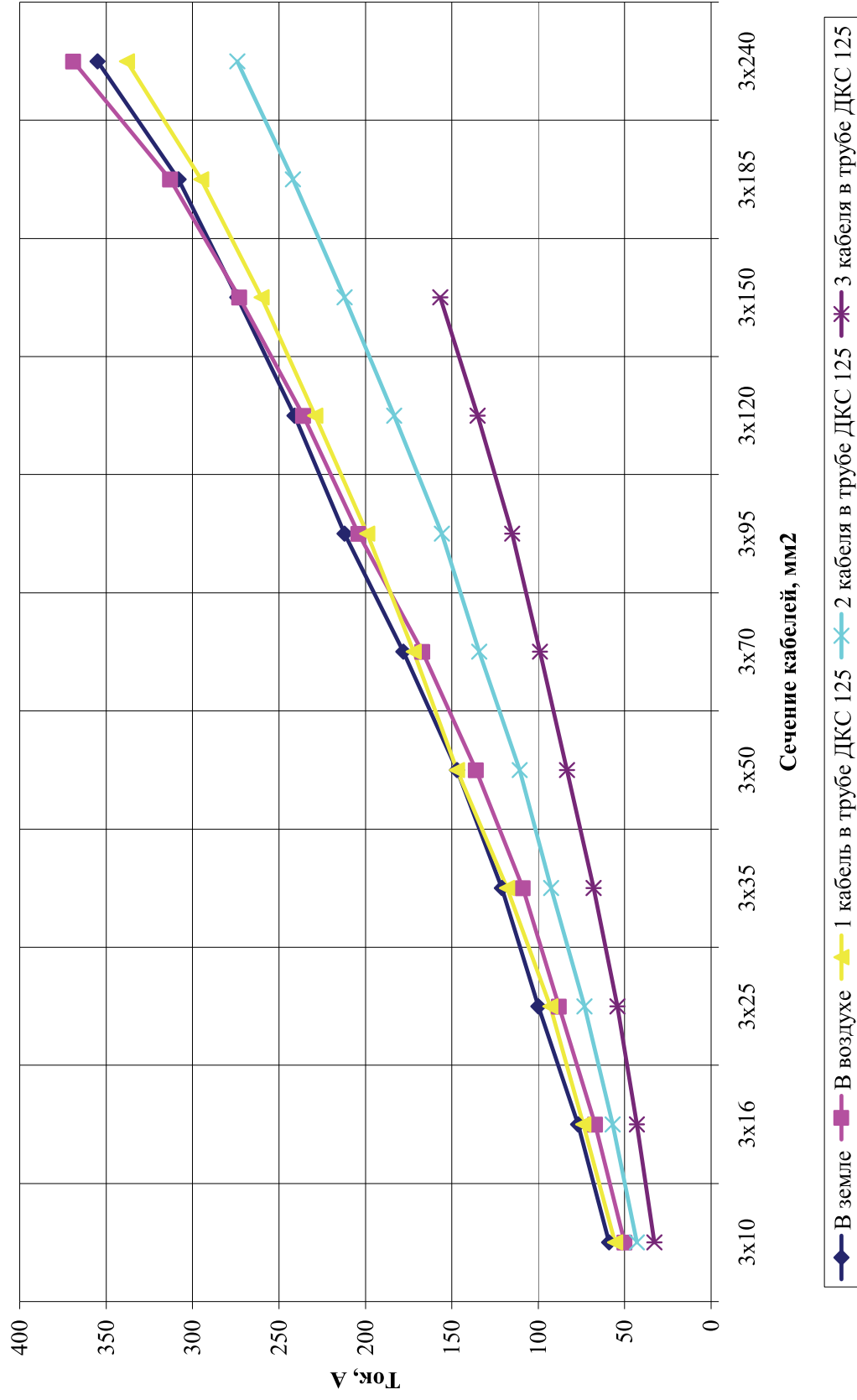


Рис.19 - Графики длительно допустимых токов кабелей ВВГ, АВВГ сечением 10 - 240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 125 мм

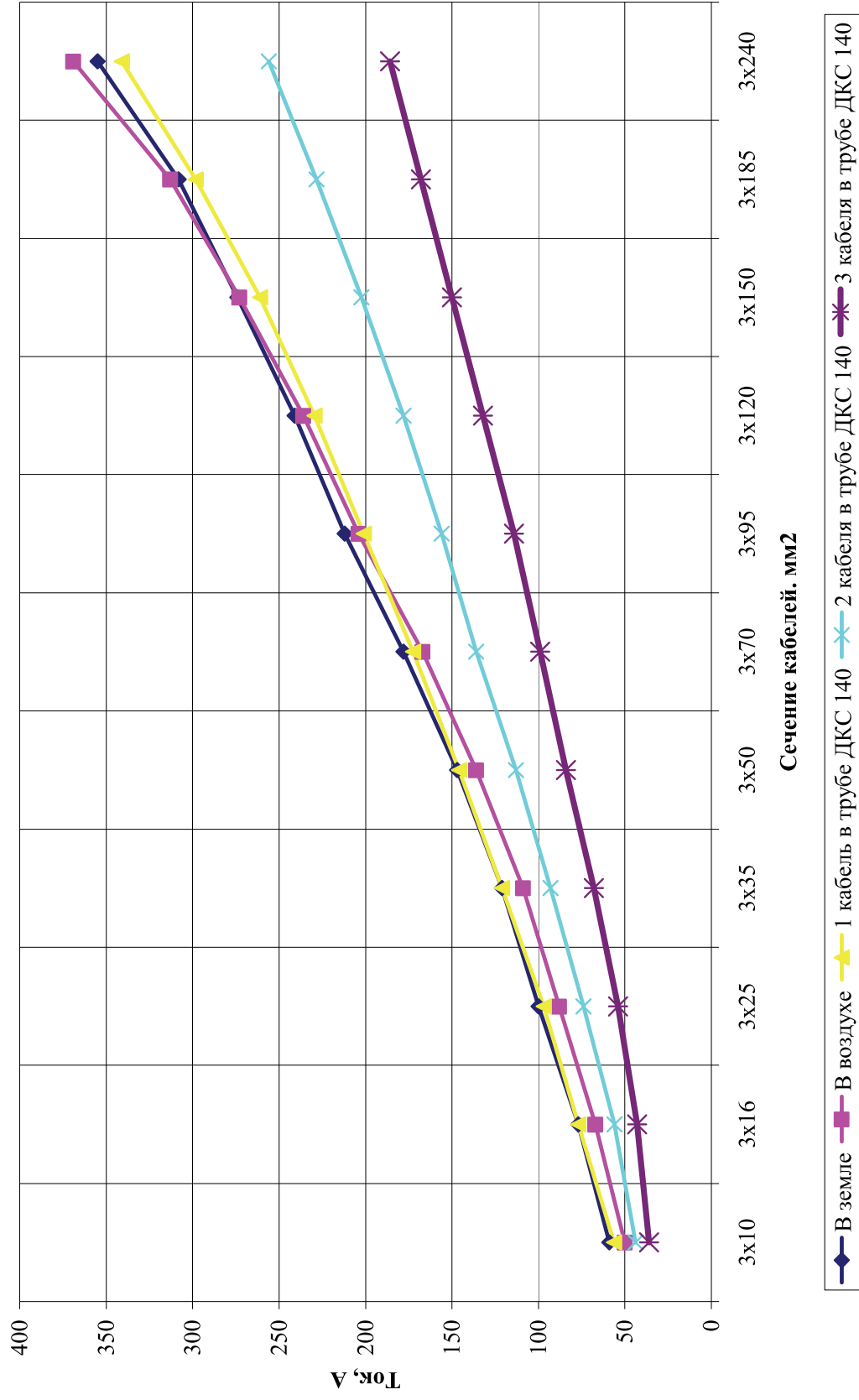


Рис. 20 - Графики длительно допустимых токов кабелей ВВГ, АВВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 140 мм



Рис.21 - Графики длительно допустимых токов кабелей ВВГ, АВВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 160 мм

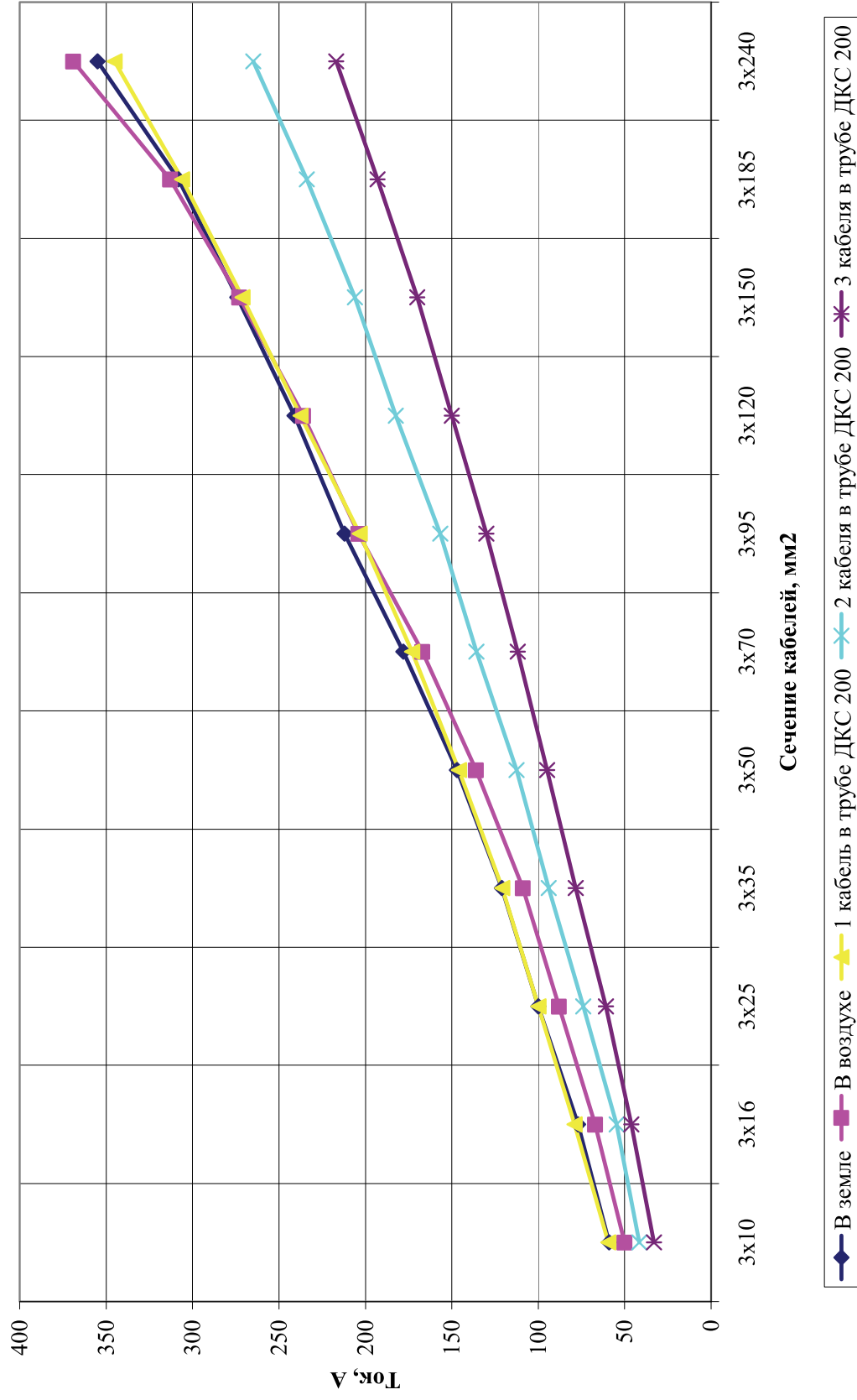


Рис.22 - Графики длительно допустимых токов кабелей ВВГ, АВВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 200 мм

Таблица 22

Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ПВГ, АПВГ, А										
Сечение и кол.жил кабеля	С медными жилами				С алюминиевыми жилами					
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø50 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø50 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	100	66	71,9	60,6	45,1	75	50	56,4	47,5	35,4
3x16	131	78	104,6	82,9	66,3	100	60	82	65	52
3x25	168	108	139,0	104,6	0,0	131	84	107	82	
3x35	200	132	181,1	126,2	0,0	156	102	141	99	
3x50	250	174	225,7			193	132	179		
3x70	306	210	272,9			237	162	217		
3x95	368	258	323,9			281	198	259		
3x120	425	300	382,5			325	228	300		
3x150	487	348				375	270			
3x185	550	390				425	300			
3x240	637	450				487	348			

Таблица 23

Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ПвВГ, АПвВГ, А										
Сечение и кол.жил кабеля	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø63 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø63 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3х10	100	66	73,6	59,5	44,2	75	50	57,7	46,7	34,7
3х16	131	78	99,5	74,0	61,2	100	60	78	58	48
3х25	168	108	131,3	99,5	81,6	131	84	103	78	64
3х35	200	132	167,0	125,0	106,5	156	102	131	98	83,5
3х50	250	174	210,4	163,1		193	132	165	127,9	
3х70	306	210	253,7			237	162	199		
3х95	368	258	302,2			281	198	237		
3х120	425	300	361,2			325	228	283,3		
3х150	487	348				375	270			
3х185	550	390				425	300			
3х240	637	450				487	348			

Таблица 24

Сечение и кол.жил кабеля	Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ПвВГ, АПвВГ, А									
	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø75 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø75 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3х10	100	66	76,5	66,0	52,8	75	50	60	51,8	41,4
3х16	131	78	103,3	81,6	65,0	100	60	81	64	51
3х25	168	108	128,8	104,6	82,9	131	84	101	82	65
3х35	200	132	164,5	131,3	108,4	156	102	129	103	85
3х50	250	174	202,7	159,4	133,6	193	132	159	125	104,8
3х70	306	210	247,4	193,3		237	162	194	151,6	
3х95	368	258	295,8			281	198	232		
3х120	425	300	343,0			325	228	269		
3х150	487	348	396,5			375	270	311		
3х185	550	390	459,0			425	300	360		
3х240	637	450	532,4			487	348	417,6		

Таблица 25

Сечение и кол.жил кабеля	Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ПвВГ, АПвВГ, А									
	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø90 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø90 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	100	66	82,1	66,6	53,2	75	50	64,4	52,2	41,7
3x16	131	78	104,6	81,6	67,6	100	60	82	64	53
3x25	168	108	127,5	96,9	88,0	131	84	100	76	69
3x35	200	132	158,1	125,0	113,5	156	102	124	98	89
3x50	250	174	196,4	153,0	133,9	193	132	154	120	105
3x70	306	210	234,6	187,4	161,9	237	162	184	147	127
3x95	368	258	271,6	229,5	195,5	281	198	213	180	153,3
3x120	425	300	318,8	271,6		325	228	250	213	
3x150	487	348	373,6			375	270	293		
3x185	550	390	419,5			425	300	329		
3x240	637	450	479,4			487	348	376		

Таблица 26

Сечение и кол.жил кабеля	Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ПвВГ, АПвВГ, А									
	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø110 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø110 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	100	66	77,5	63,8	52,3	75	50	60,8	50	41
3x16	131	78	102,0	79,1	61,2	100	60	80	62	48
3x25	168	108	133,9	99,5	79,1	131	84	105	78	62
3x35	200	132	165,8	119,9	95,6	156	102	130	94	75
3x50	250	174	210,4	146,6	117,3	193	132	165	115	92
3x70	306	210	261,4	174,7	137,7	237	162	205	137	108
3x95	368	258	306,0	209,1	164,5	281	198	240	164	129
3x120	425	300	357,0	247,4	196,4	325	228	280	194	154
3x150	487	348	414,4	289,4	229,0	375	270	325	227	179,6
3x185	550	390	478,1	336,6		425	300	375	264	
3x240	637	450	544,4			487	348	427		

Таблица 27

Сечение и кол. жил кабеля	Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ПвВГ, АПвВГ, А									
	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø125 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø125 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	100	66	88,2	66,4	49,6	75	50	69,2	52,1	38,9
3x16	131	78	114,8	86,7	63,8	100	60	90	68	50
3x25	168	108	139,0	110,9	85,4	131	84	109	87	67
3x35	200	132	177,2	135,2	112,2	156	102	139	106	88
3x50	250	174	215,5	165,8	142,8	193	132	169	130	112
3x70	306	210	255,0	200,2	178,5	237	162	200	157	140
3x95	368	258	300,9	237,2	219,3	281	198	236	186	172
3x120	425	300	351,9	274,1	255,0	325	228	276	215	200
3x150	487	348	401,6	318,8	297,1	375	270	315	250	233
3x185	550	390	467,9	359,6		425	300	367	282	
3x240	637	450	546,6	400,2		487	348	428,7	313,9	

Таблица 28

Сечение и кол. жил кабеля	Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ПвВГ, АпВВГ, А									
	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø140 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø140 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3х10	100	66	86,7	67,4	55,3	75	50	68	52,9	43,4
3х16	131	78	113,5	75,2	74,0		60	89	59	58
3х25	168	108	150,5	98,2	93,1	131	84	118	77	73
3х35	200	132	182,3	125,0	117,3	156	102	143	98	92
3х50	250	174	223,1	153,0	139,0	193	132	175	120	109
3х70	306	210	266,5	188,7	163,2	237	162	209	148	128
3х95	368	258	320,0	227,0	191,3	281	198	251	178	150
3х120	425	300	369,8	266,5	224,4	325	228	290	209	176
3х150	487	348	428,4	312,4	255,0	375	270	336	245	200
3х185	550	390	490,9	360,8	293,3	425	300	385	283	230
3х240	637	450	551,4	410,4	333,2	487	348	432,5	321,9	261,3

Таблица 29

Сечение и кол.жил кабеля	Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ПВГ, АПВГ, А									
	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø160 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø160 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	100	66	84,4	71,0	41,6	75	50	66,2	55,7	32,6
3x16	131	78	107,1	86,7	58,7	100	60	84	68	46
3x25	168	108	136,4	105,8	76,5	131	84	107	83	60
3x35	200	132	164,5	130,1	95,6	156	102	129	102	75
3x50	250	174	209,1	160,7	121,1	193	132	164	126	95
3x70	306	210	249,9	196,4	146,6	237	162	196	154	115
3x95	368	258	302,2	235,9	174,7	281	198	237	185	137
3x120	425	300	354,5	278,0	202,7	325	228	278	218	159
3x150	487	348	408,0	321,3	234,6	375	270	320	252	184
3x185	550	390	471,8	367,2	266,5	425	300	370	288	209
3x240	637	450	548,3	420,8	309,8	487	348	430	330	243

Таблица 30

Сечение и кол.жил кабеля	Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей ПвВГ, АПвВГ, А									
	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø200 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø200 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	100	66	87,8	65,0	62,1	75	50	68,9	51	48,7
3x16	131	78	114,8	83,0	73,3	100	60	90	65,1	57,5
3x25	168	108	145,4	104,6	95,6	131	84	114	82	75
3x35	200	132	182,3	128,8	114,8	156	102	143	101	94
3x50	250	174	216,8	159,4	142,8	193	132	170	125	112
3x70	306	210	258,8	196,4	172,1	237	162	203	154	135
3x95	368	258	306,0	235,9	210,4	281	198	240	185	161
3x120	425	300	351,9	274,1	246,1	325	228	276	215	189
3x150	487	348	408,0	322,6	275,4	375	270	320	253	214
3x185	550	390	459,0	362,1	309,8	425	300	360	284	243
3x240	637	450	515,1	408,0	344,3	487	348	404	320	270

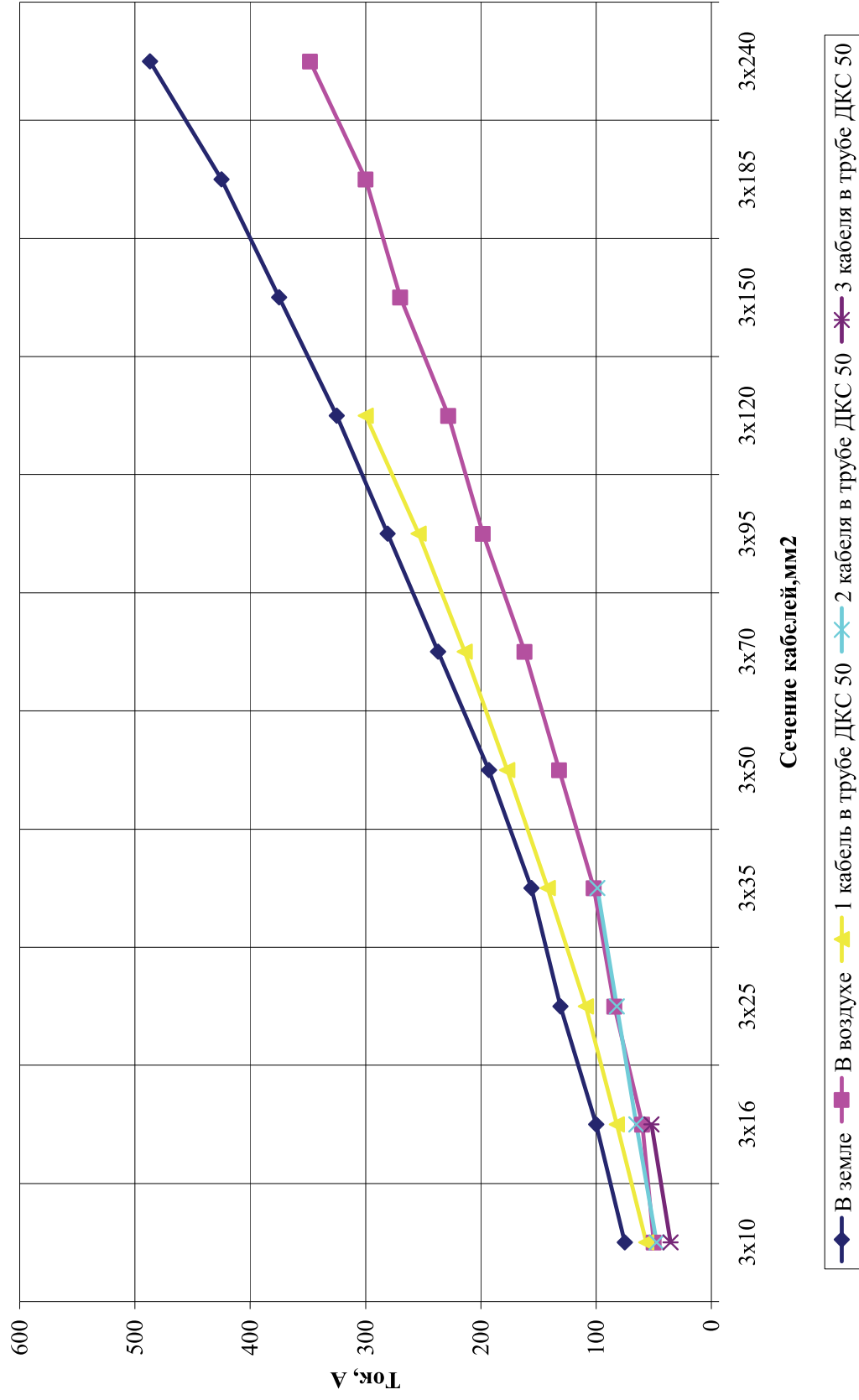


Рис.23 - Графики длительно допустимых токов кабелей ПвВГ, АПвВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 50 мм

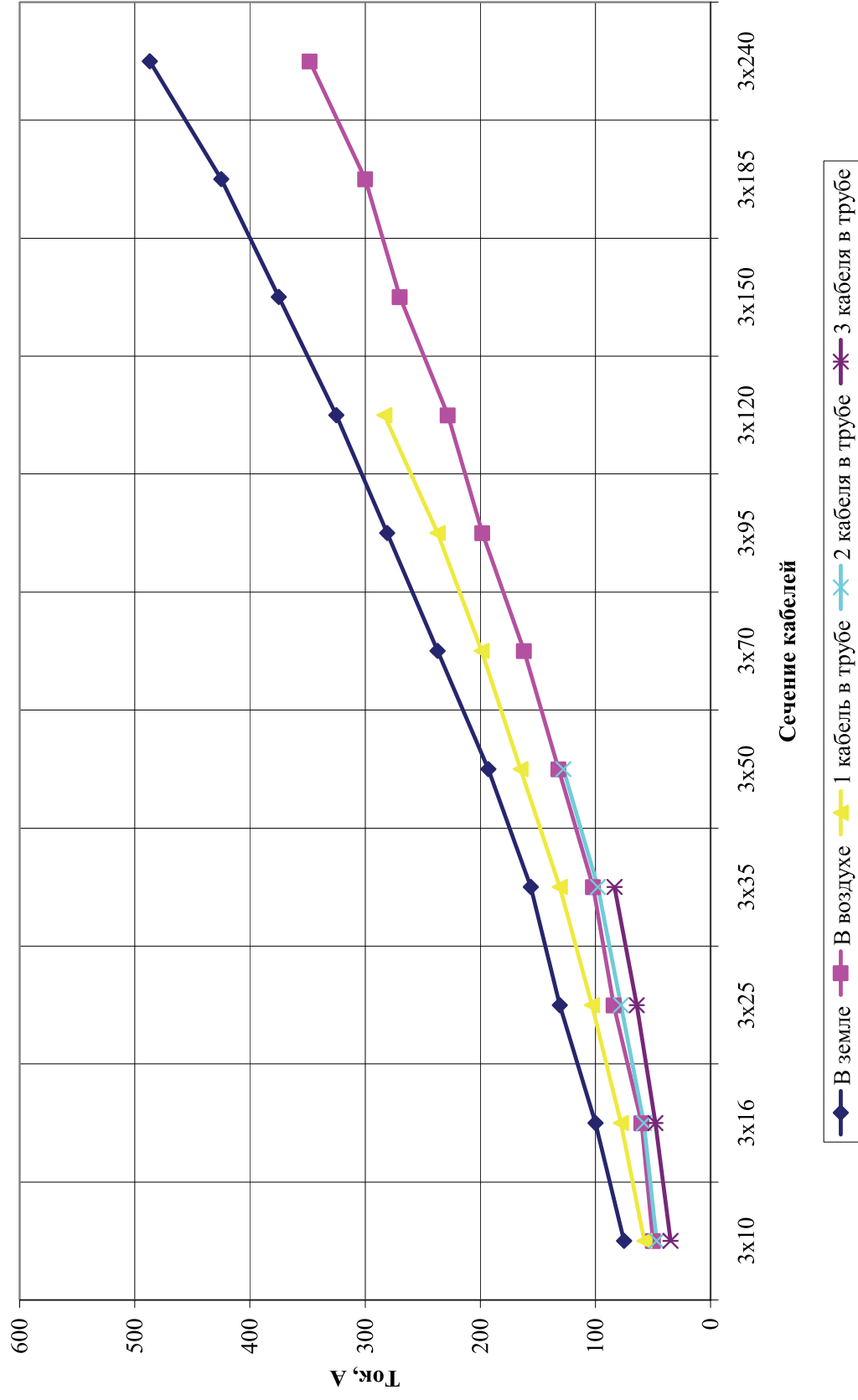


Рис.24 - Графики длительно допустимых токов кабелей ПВВГ, АПВВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 63 мм

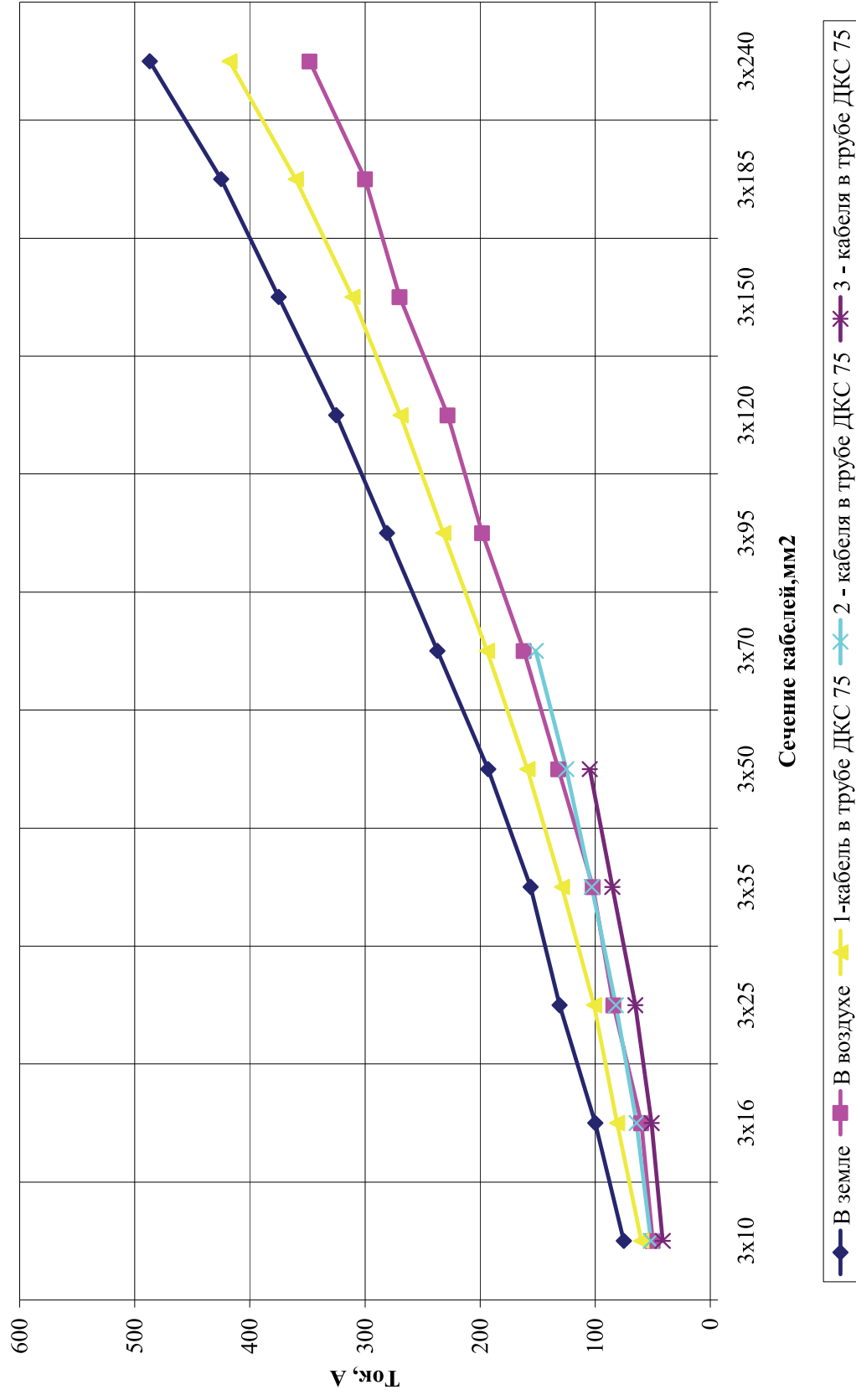


Рис.25 - Графики длительно допустимых токов кабелей ПвВГ, АПвВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 75 мм

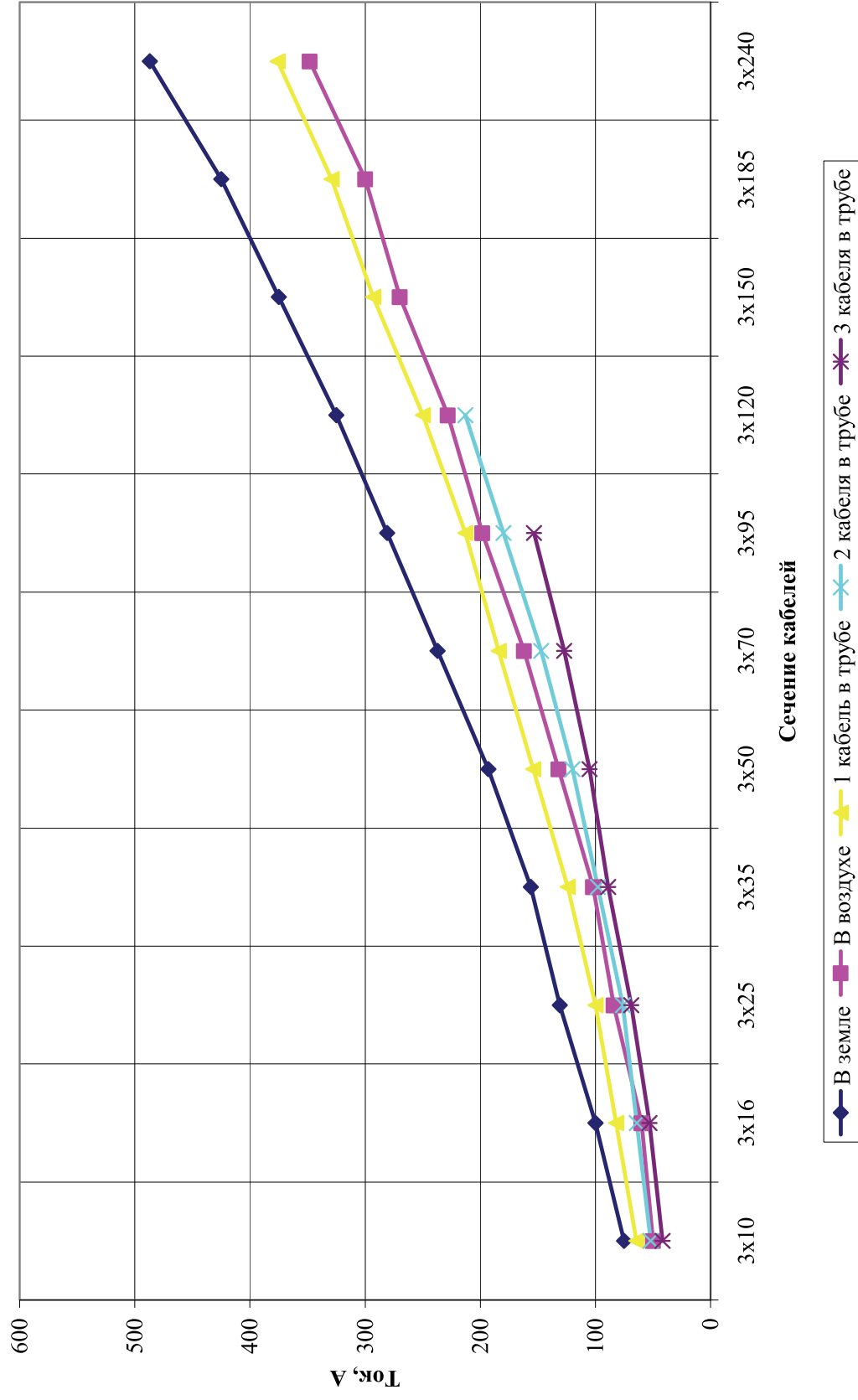


Рис.26 - Графики длительно допустимых токов кабелей ПВВГ, АПВВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 90 мм

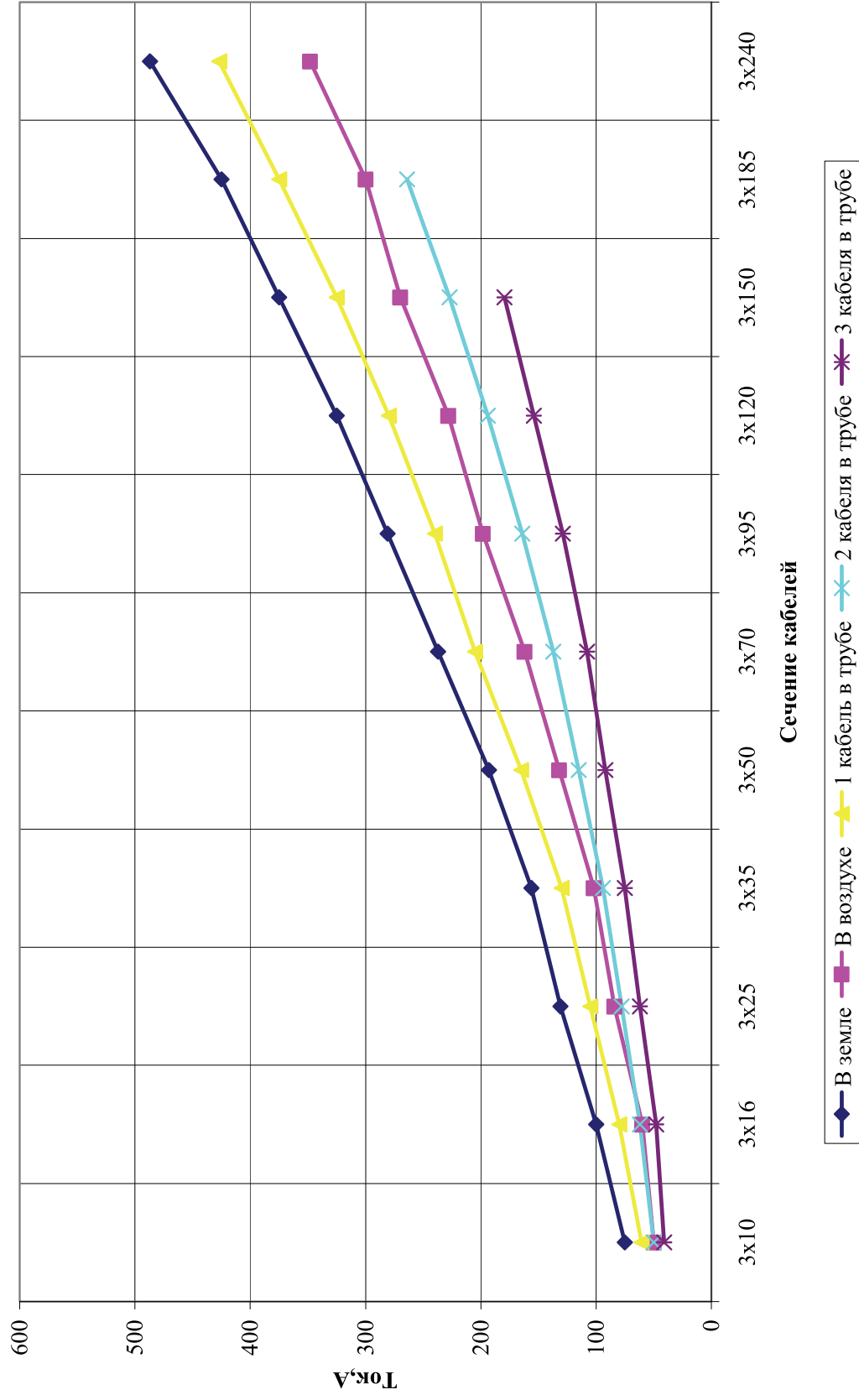


Рис.27 - Графики длительно допустимых токов кабелей ПвВГ, АПвВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 110 мм

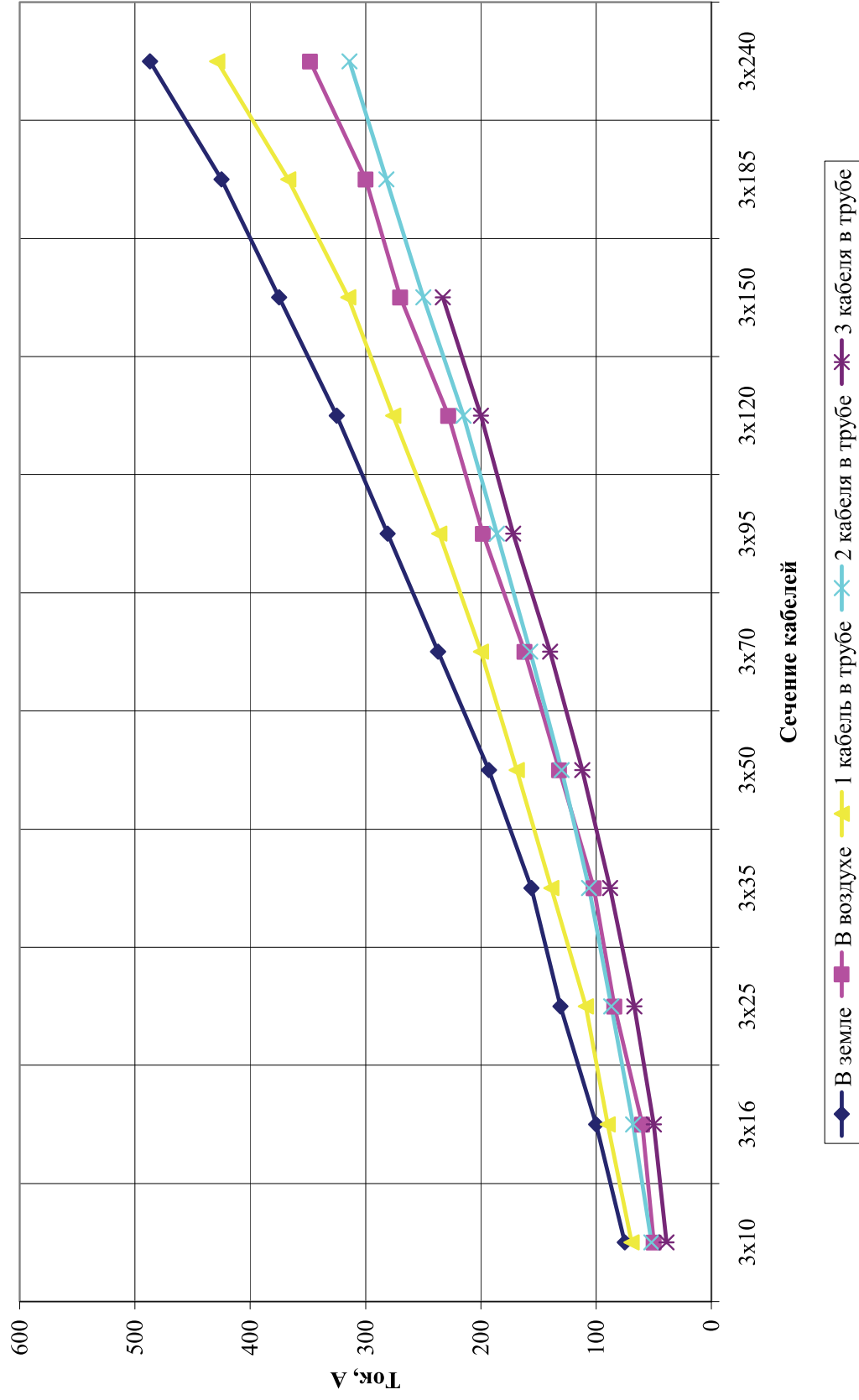


Рис.28 - Графики длительно допустимых токов кабелей ПвВГ, АПвВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двухстенных гофрированных трубах ДКС диаметром 125 мм

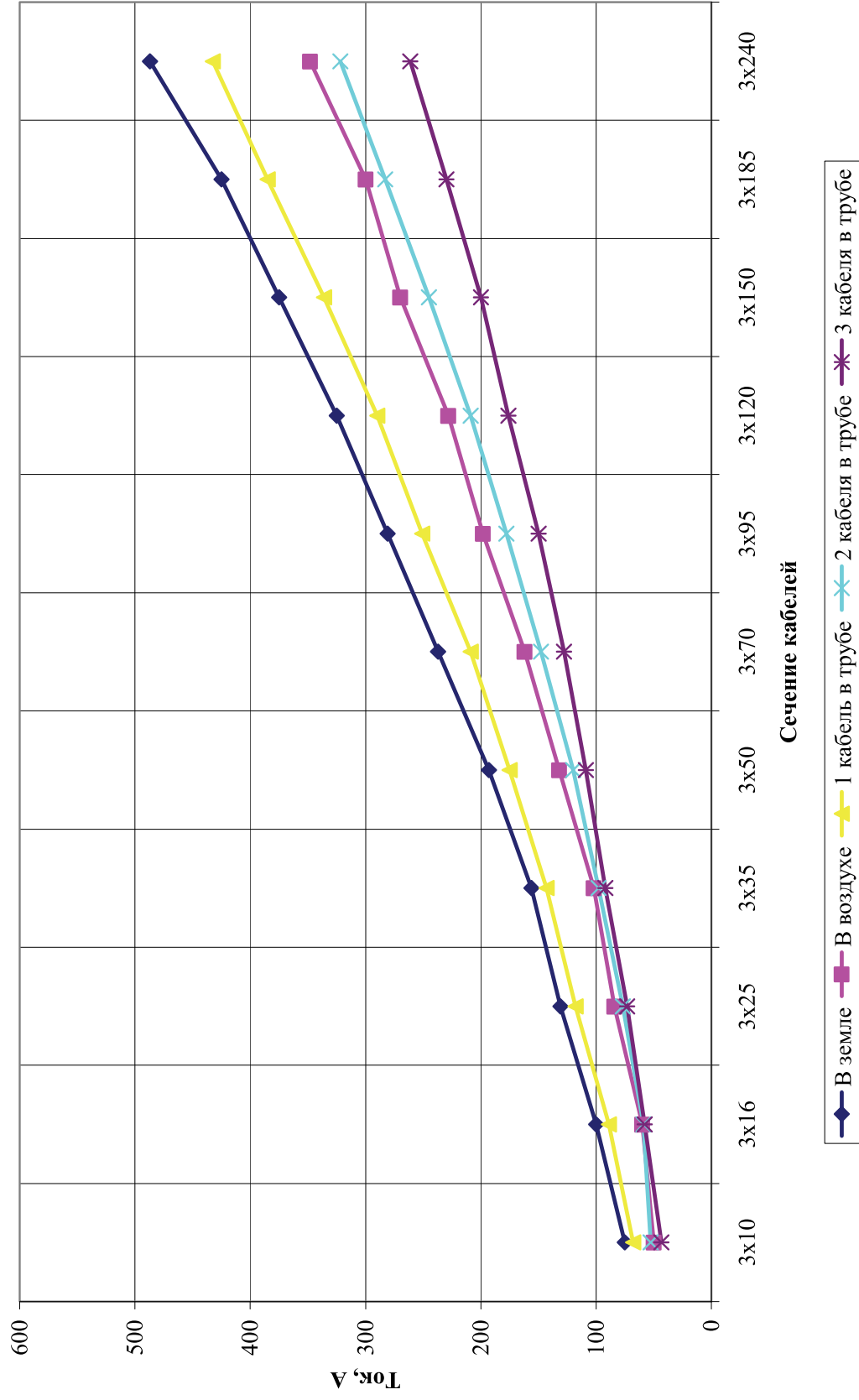


Рис. 29 - Графики длительно допустимых токов кабелей ПвВГ, АПвВГ сечением 10-240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 140 мм

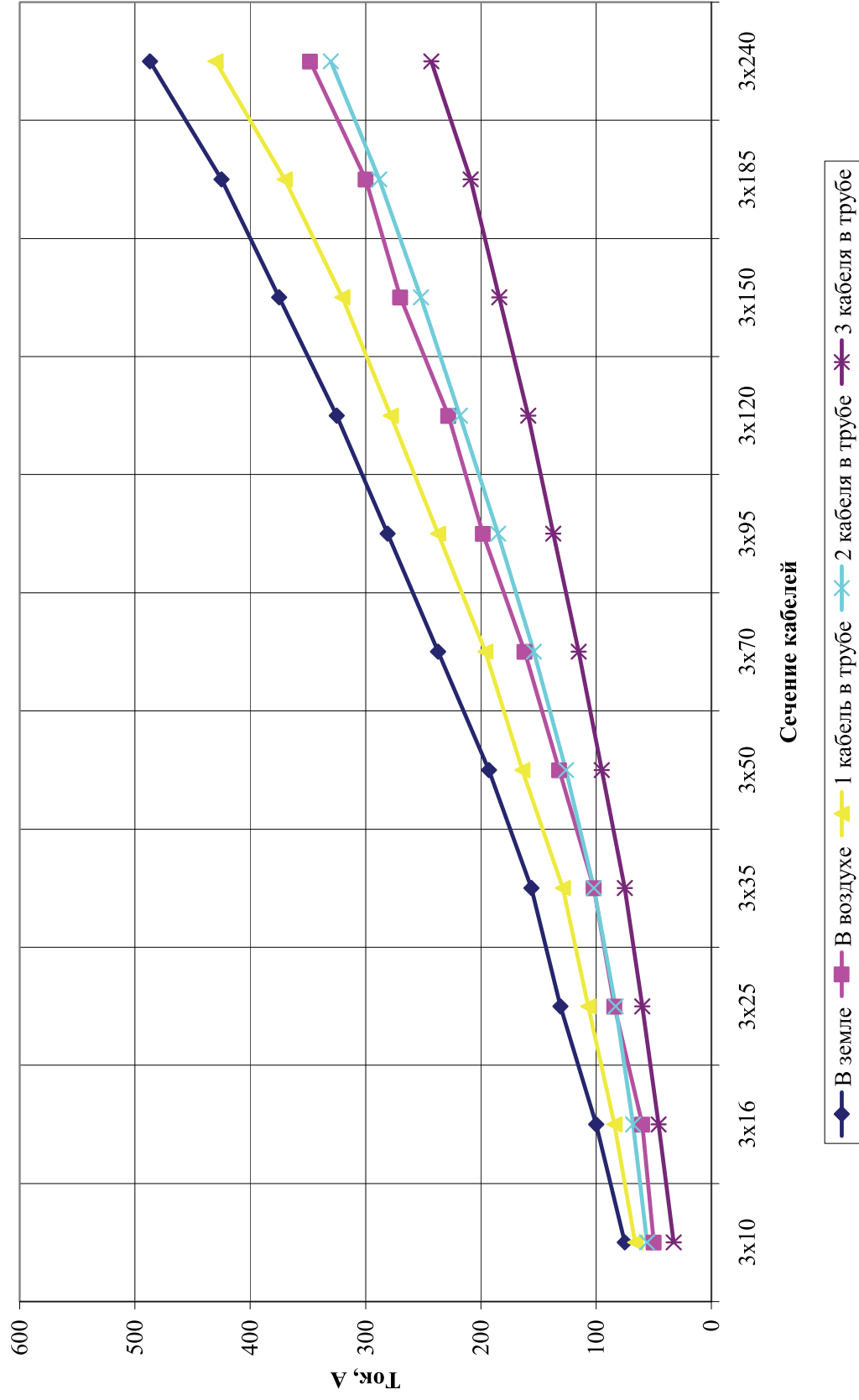


Рис.30 - Графики длительно допустимых токов кабелей ПВВГ, АПВВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двустенных гофрированных трубах ДКС диаметром 160 мм

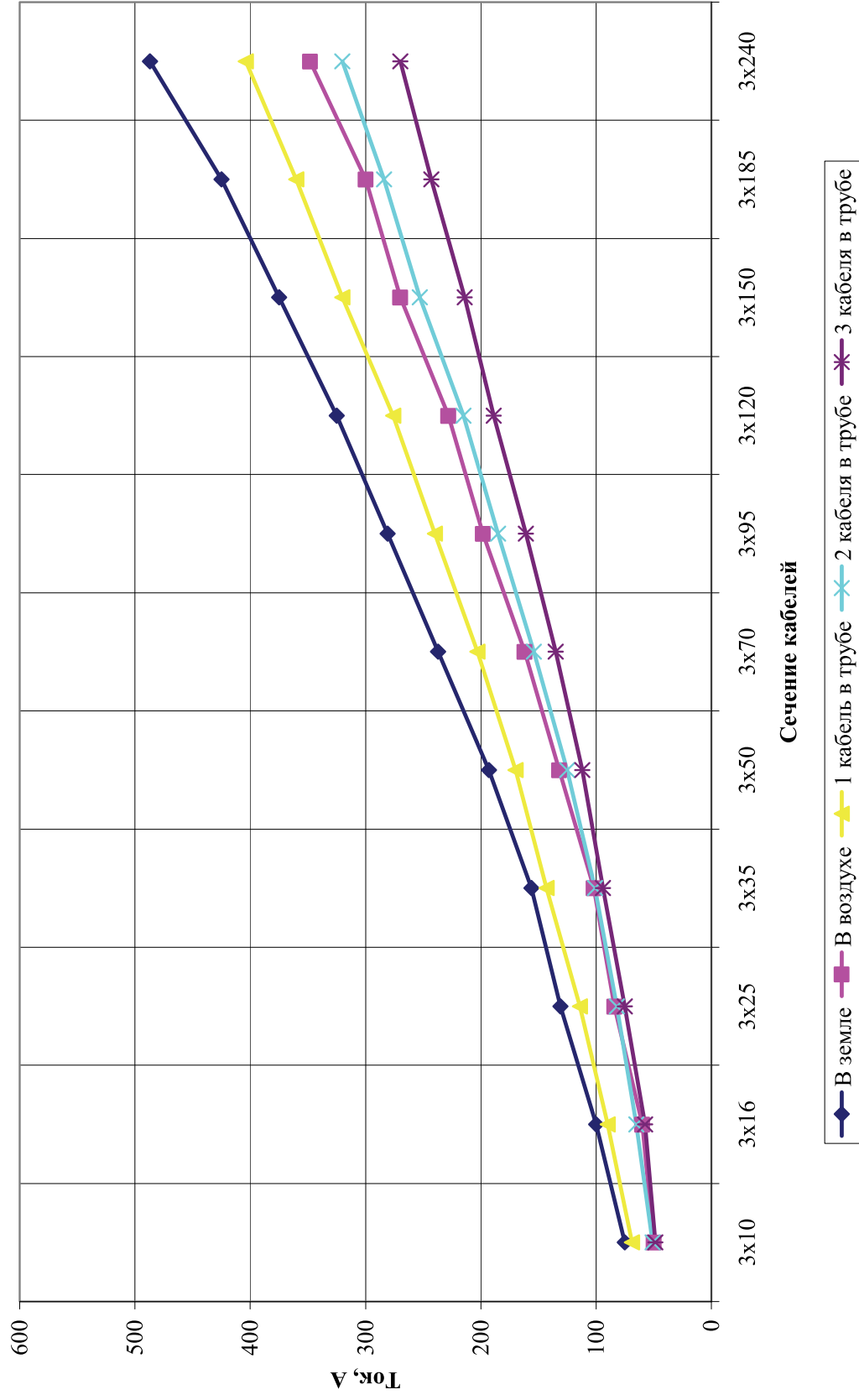


Рис.31 - Графики длительно допустимых токов кабелей ПВВГ, АПВВГ сечением 10 -240 мм², проложенных в двухстенных гофрированных трубах ДКС диаметром 200 мм

Таблица 31

Сечение и кол.жил кабеля	Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслослуканифольной и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ)									
	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø50 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø50 мм		
	Данные ПУЭ		1 каб.	2 каб.	3 каб.	Данные ПУЭ		1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	80	55	62,4	53,3	39	60	42	48	41	30
3x16	105	65	84,11	74,36	52	80	50	64,7	57,2	40
3x25	135	90	109,72	98,67		105	70	84,4	75,9	
3x35	160	110	134,03	123,5		125	85	103,1	95	
3x50	200	145	165,75			155	110	127,5		
3x70	245	175	202,8			190	135	156		
3x95	295	215	246,22			225	165	189,4		
3x120	340	250	288,6			260	190	222		
3x150	390	290				300	225			
3x185	440	325				340	250			
3x240	510	375				390	290			

Таблица 32

Сечение и кол.жил кабеля	Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслосканифольной и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ)									
	С медными жилами						С алюминиевыми жилами			
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø63 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø63 мм		
			1 каб.	2 каб.	3 каб.			1 каб.	2 каб.	3 каб.
3х10	80	55	66,3	52,52	40,3	60	42	51	40,4	31
3х16	105	65	86,58	65	51,22	80	50	66,6	50	39,4
3х25	135	90	112,19	80,47	65,78	105	70	86,3	61,9	50,6
3х35	160	110	140,14	102,44	84,11	125	85	107,8	78,8	64,7
3х50	200	145	169	125,58		155	110	130	96,6	
3х70	245	175	207,22			190	135	159,4		
3х95	295	215	246,22			225	165	189,4		
3х120	340	250	283,92			260	190	218,4		
3х150	390	290	327,6			300	225	252		
3х185	440	325				340	250			
3х240	510	375				390	290			

Таблица 33

Сечение и кол-жил кабеля	Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслосканифольной и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ)									
	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø75 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø75 мм		
	Данные ПУЭ		1 каб.	2 каб.	3 каб.	Данные ПУЭ		1 каб.	2 каб.	3 каб.
3х10	80	55	67,6	53,95	41,6	60	42	52	41,5	32
3х16	105	65	85,67	63,96	53,3	80	50	65,9	49,2	41
3х25	135	90	108,55	81,12	67,6	105	70	83,5	62,4	52
3х35	160	110	137,15	102,83	84,5	125	85	105,5	79,1	65
3х50	200	145	166,79	130	104	155	110	128,3	100	80
3х70	245	175	205,4	161,2		190	135	158	124	
3х95	295	215	243,1			225	165	187		
3х120	340	250	283,4			260	190	218		
3х150	390	290	327,86			300	225	252,2		
3х185	440	325	375,7			340	250	289		
3х240	510	375	434,2			390	290	334		

Таблица 34

Сечение и кол. жил кабеля	Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслосканифольной и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ)									
	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø90 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø90 мм		
	Данные ПУЭ		1 каб.	2 каб.	3 каб.	Данные ПУЭ		1 каб.	2 каб.	3 каб.
3х10	80	55	68,25	55,9	42,25	60	42	52,5	43	32,5
3х16	105	65	87,75	70,2	55,9	80	50	67,5	54	43
3х25	135	90	114,53	86,58	69,42	105	70	88,1	66,6	53,4
3х35	160	110	143	104,78	86,58	125	85	110	80,6	66,6
3х50	200	145	174,2	129,22	104,78	155	110	134	99,4	80,6
3х70	245	175	205,4	151,19	125,58	190	135	158	116,3	96,6
3х95	295	215	243,1	178,1	147,42	225	165	187	137	113,4
3х120	340	250	280,28	204,75		260	190	215,6	157,5	
3х150	390	290	326,3	238,94		300	225	251	183,8	
3х185	440	325	379,08			340	250	291,6		
3х240	510	375	436,8			390	290	336		

Таблица 35

Сечение и кол. жил кабеля	Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслосканифольной и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ)									
	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø110 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø110 мм		
	Данные ПУЭ		1 каб.	2 каб.	3 каб.	Данные ПУЭ		1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	80	55	70,2	57,2	44,2	60	42	54	44	34
3x16	105	65	90,22	65	49,4	80	50	69,4	50	38
3x25	135	90	117	76,83	60,97	105	70	90	59,1	46,9
3x35	160	110	145,6	93,86	74,36	125	85	112	72,2	57,2
3x50	200	145	179,4	118,17	93,86	155	110	138	90,9	72,2
3x70	245	175	211,9	143,78	113,36	190	135	163	110,6	87,2
3x95	295	215	248,69	176,67	135,33	225	165	191,3	135,9	104,1
3x120	340	250	292,5	207,22	163,28	260	190	225	159,4	125,6
3x150	390	290	334,1	248,69	193,83	300	225	257	191,3	149,1
3x185	440	325	380,25	288,6	224,9	340	250	292,5	222	173
3x240	510	375	440,7			390	290	339		

Таблица 36

Сечение и кол-жил кабеля	Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслосканифольной и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ)									
	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø125 мм		Данные ПУЭ	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø125 мм		
			1 каб.	2 каб.				1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	80	55	72,15	56,55		60	42	55,5	43,5	35
3x16	105	65	88,92	71,5		80	50	68,4	55	41
3x25	135	90	114,53	89,7		105	70	88,1	69	52,5
3x35	160	110	141,44	110,5		125	85	108,8	85	64
3x50	200	145	174,2	131,3		155	110	134	101	78
3x70	245	175	210,86	163,8		190	135	162,2	126	95,6
3x95	295	215	251,03	193,83		225	165	193,1	149,1	114,4
3x120	340	250	293,67	228,8		260	190	225,9	176	135
3x150	390	290	335,4	268,19		300	225	258	206,3	157,5
3x185	440	325	385,19	308,1		340	250	296,3	237	
3x240	510	375	444,6	358,8		390	290	342	276	

Таблица 37

Сечение и кол-жил кабеля	Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслосканифольной и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ)									
	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø140 мм		Данные ПУЭ	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø140 мм		
	Данные ПУЭ		1 каб.	2 каб.	3 каб.	Данные ПУЭ		1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	80	55	72,8	58,5	46,41	60	42	56	45	35,7
3x16	105	65	92,69	68,9	53,3	80	50	71,3	53	41
3x25	135	90	117	88,92	66,3	105	70	90	68,4	51
3x35	160	110	146,25	113,1	80,6	125	85	112,5	87	62
3x50	200	145	174,2	135,33	98,8	155	110	134	104,1	76
3x70	245	175	212,03	159,9	117	190	135	163,1	123	90
3x95	295	215	247	189,8	140,14	225	165	190	146	107,8
3x120	340	250	292,5	219,44	165,75	260	190	225	168,8	127,5
3x150	390	290	335,14	253,5	196,17	300	225	257,8	195	150,9
3x185	440	325	385,19	291,33	229,19	340	250	296,3	224,1	176,3
3x240	510	375	448,5	335,4	265,72	390	290	345	258	204,4

Таблица 39

Сечение и кол. жил кабеля	Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслосканифольной и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ)									
	С медными жилами					С алюминиевыми жилами				
	в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø200 мм			в земле	на воз- духе	В трубе ДКС Ø200 мм		
	Данные ПУЭ		1 каб.	2 каб.	3 каб.	Данные ПУЭ		1 каб.	2 каб.	3 каб.
3x10	80	55	75,4	61,1	48,1	60	42	58	47	37
3x16	105	65	92,3	68,9	57,33	80	50	71	53	44,1
3x25	135	90	117	87,1	70,2	105	70	90	67	54
3x35	160	110	143	111,8	90,22	125	85	110	86	69,4
3x50	200	145	173,03	132,86	110,89	155	110	133,1	102,2	85,3
3x70	245	175	208	163,8	134,03	190	135	160	126	103,1
3x95	295	215	247	193,83	157,3	225	165	190	149,1	121
3x120	340	250	291,33	224,25	185,9	260	190	224,1	172,5	143
3x150	390	290	333,97	260,78	213,2	300	225	256,9	200,6	164
3x185	440	325	387,53	302,25	249,86	340	250	298,1	232,5	192,2
3x240	510	375	455	353,6	291,2	390	290	350	272	224

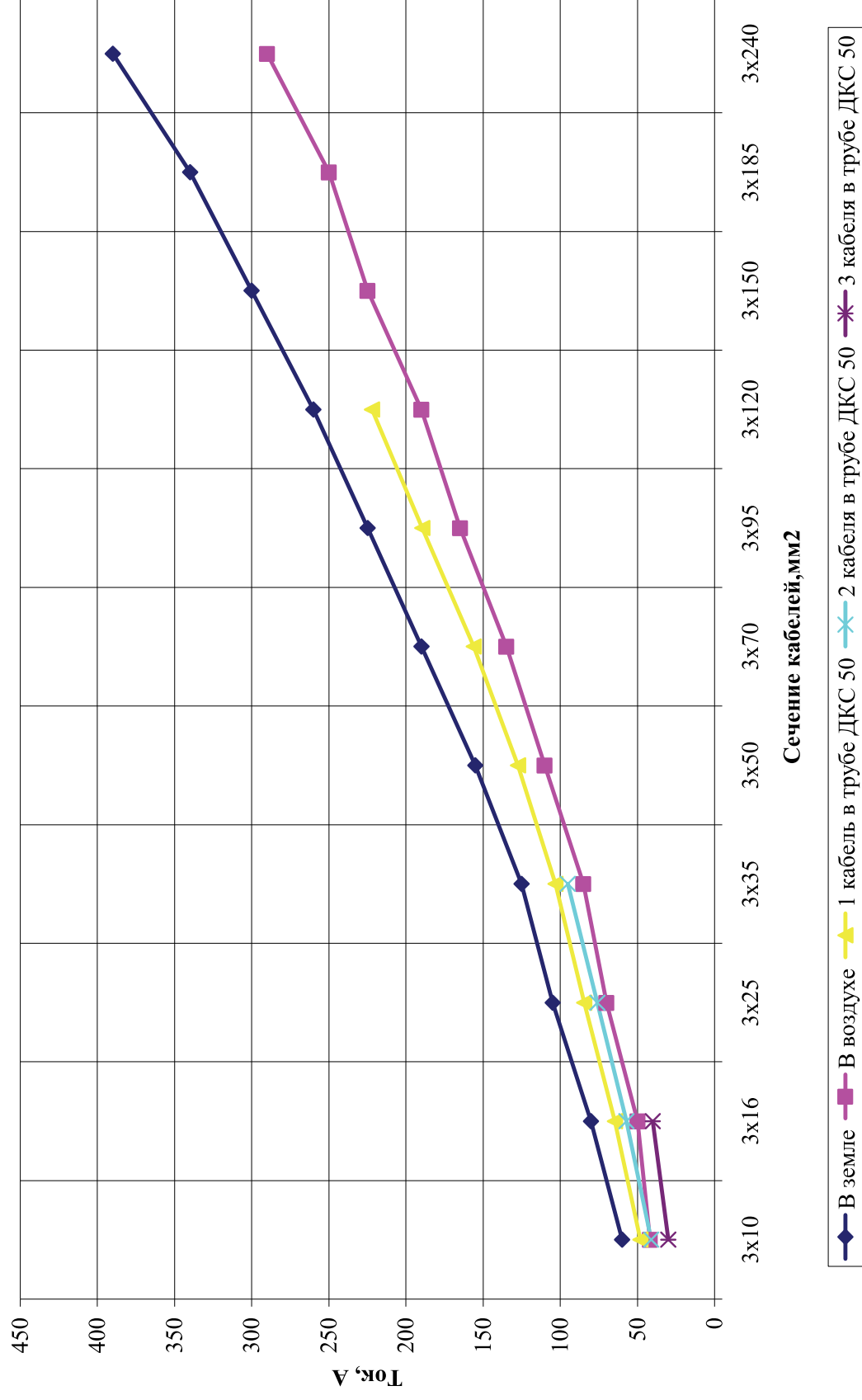


Рис.32 - Графики допустимых длительных токов для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслोकанифольной и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ) сечением 10 – 240 мм², труба ДКС диаметром 50 мм.

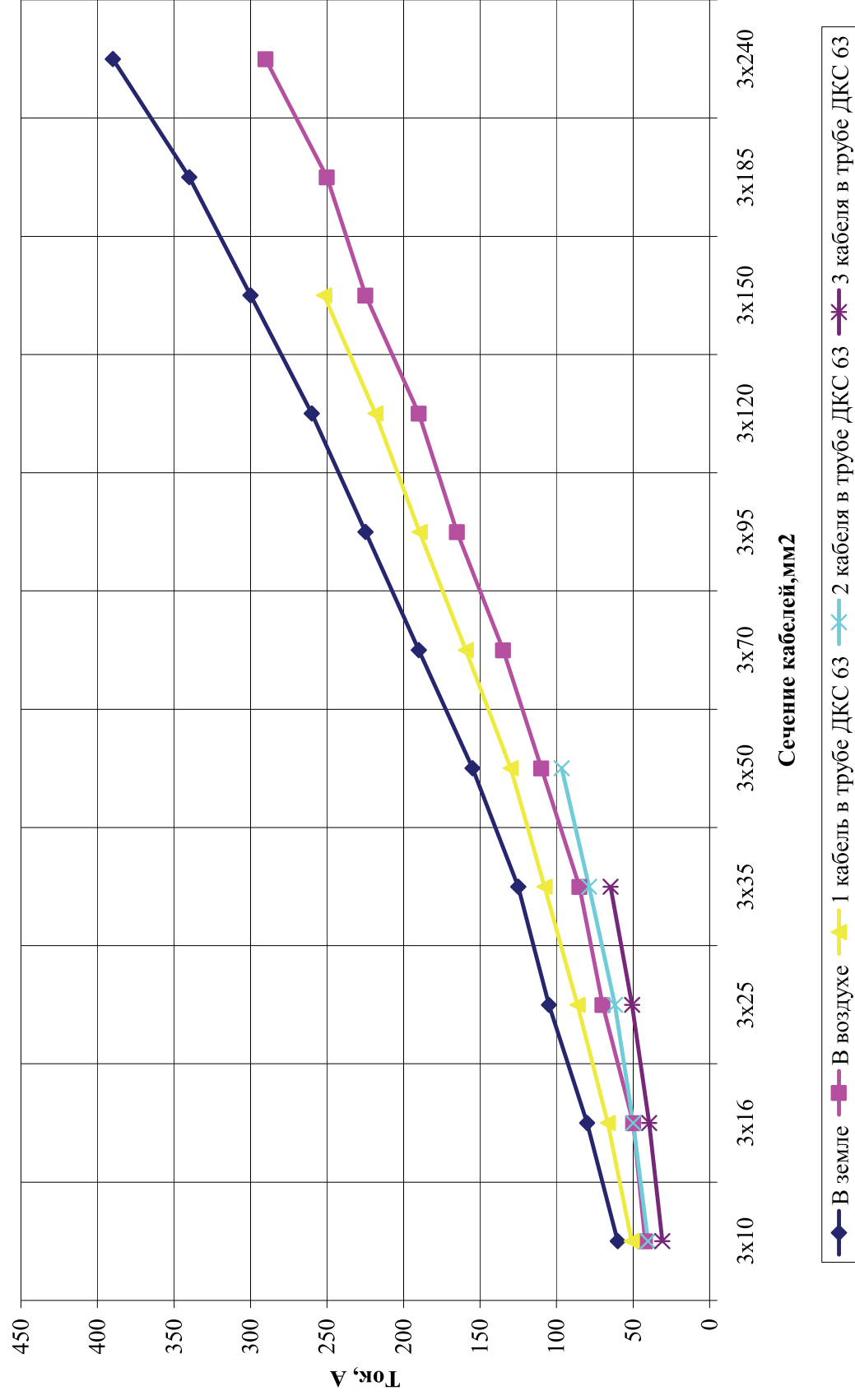


Рис.33 - Графики допустимых длительных токов для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслостойкой изоляцией и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ) сечением 10 – 240 мм², труба ДКС диаметром 63 мм

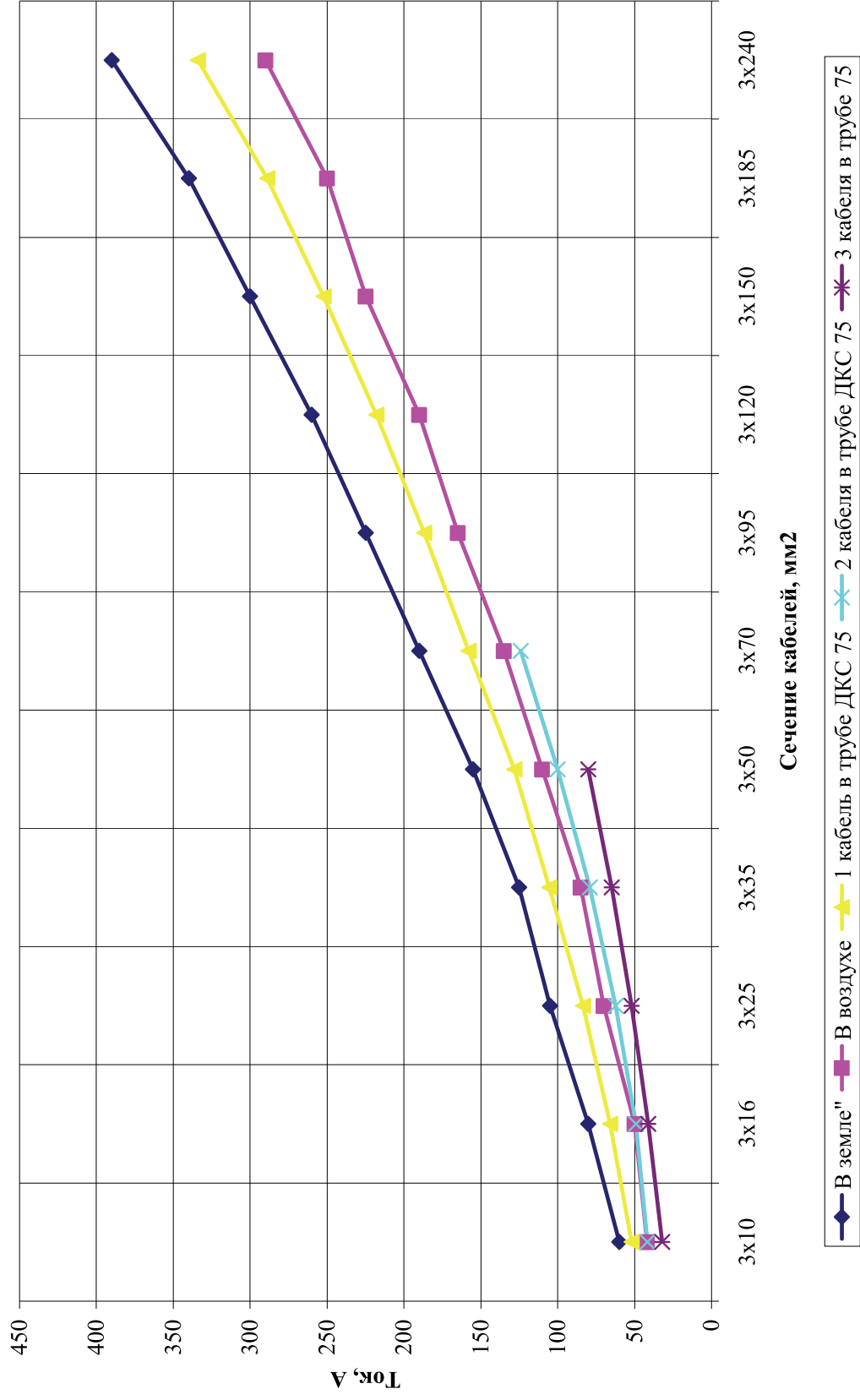


Рис.34 - Графики допустимых длительных токов для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслостанифольной и нестекающей массой изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ) сечением 10 – 240 мм², труба ДКС диаметром 75 мм

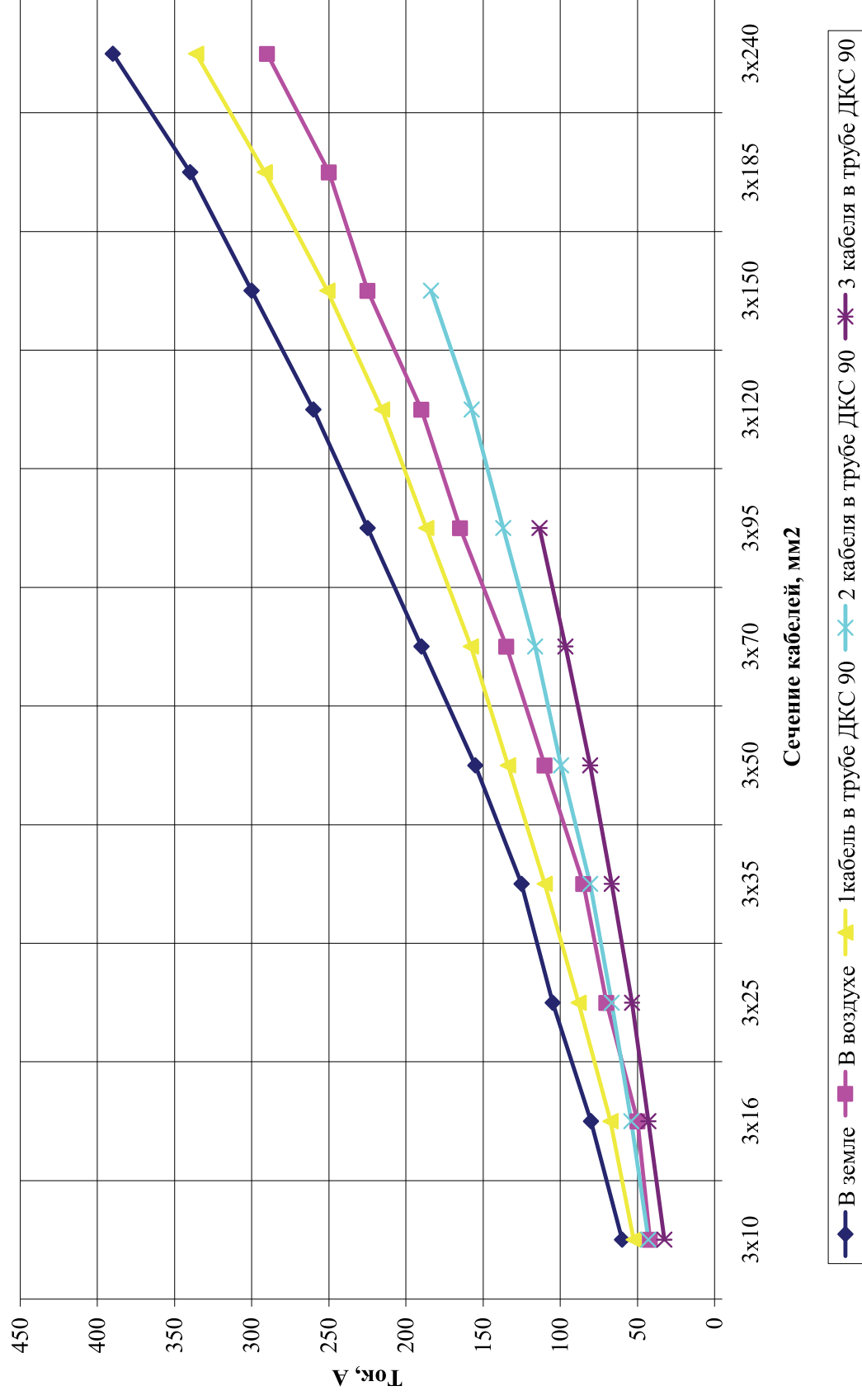


Рис.35 - Графики допустимых длительных токов для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслостойкой изоляцией и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ) сечением 10 – 240 мм², труба ДКС диаметром 90 мм

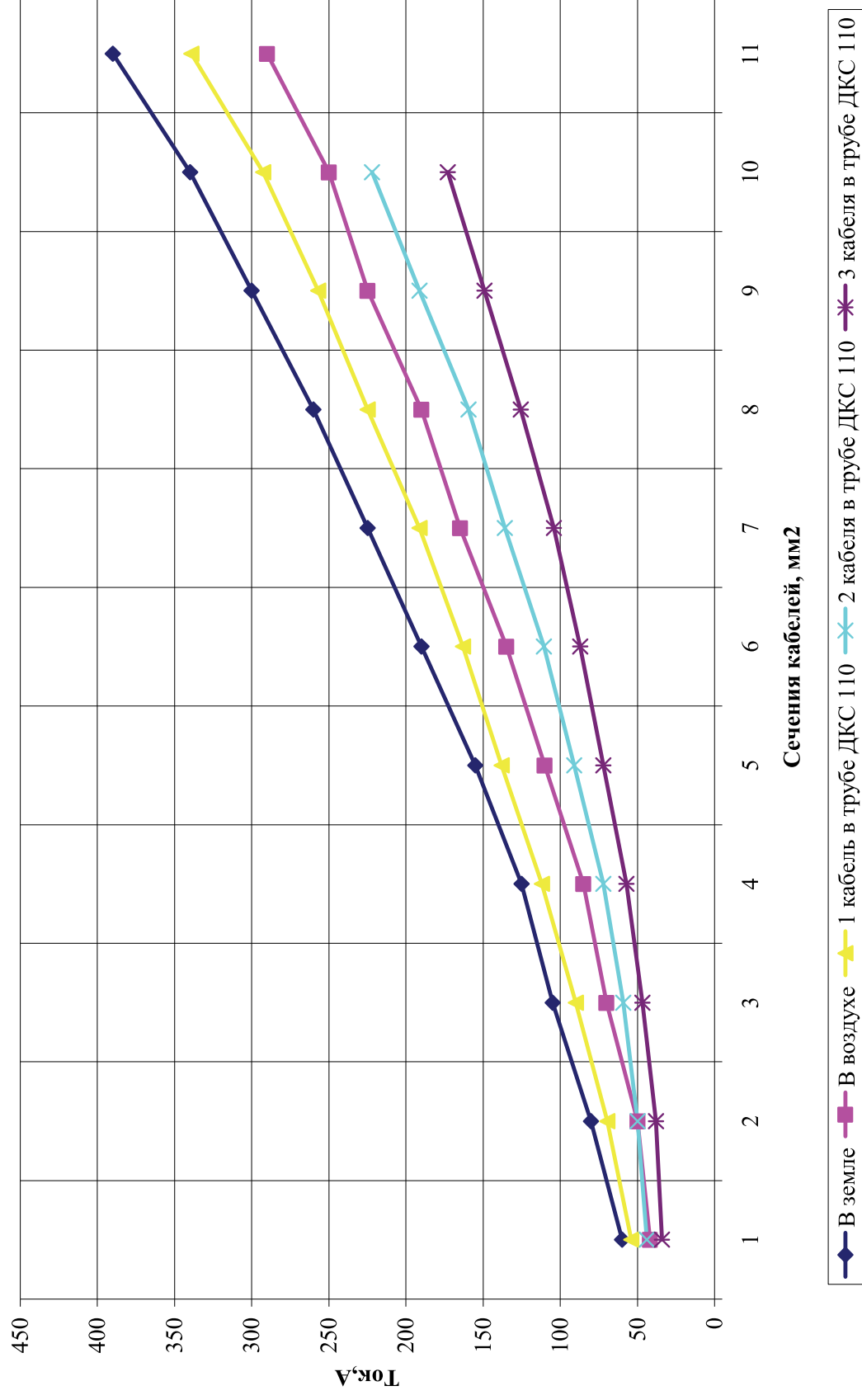


Рис.36 - Графики допустимых длительных токов для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслостойкой изоляцией и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ) сечением 10 – 240 $мм^2$, труба ДКС диаметром 110 мм

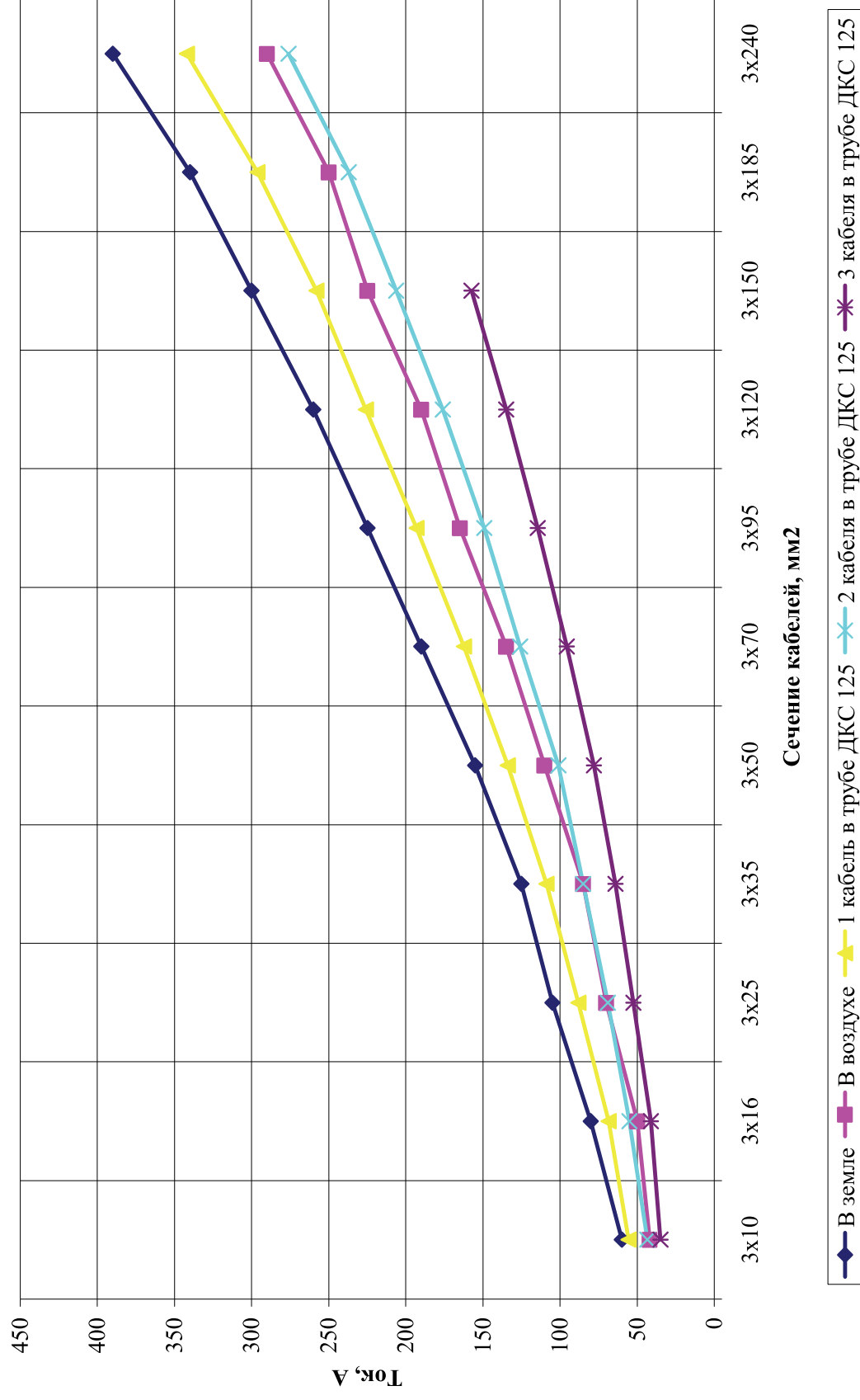


Рис.37 - Графики допустимых длительных токов для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслостойкой изоляцией и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ) сечением 10 – 240 мм², труба ДКС диаметром 125 мм

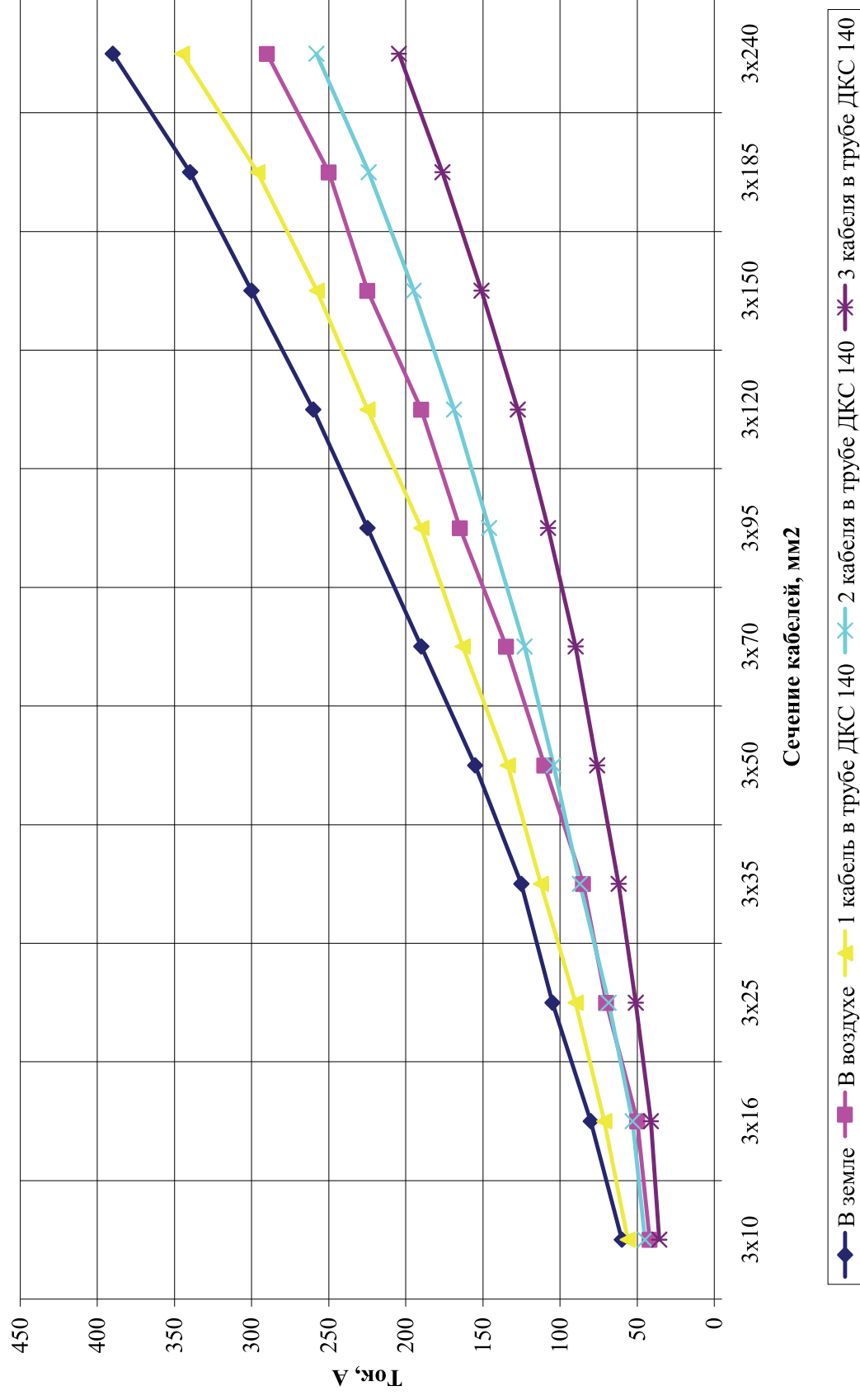


Рис.38 - Графики допустимых длительных токов для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслостойкой изоляцией и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ) сечением 10 – 240 мм², труба ДКС диаметром 140 мм

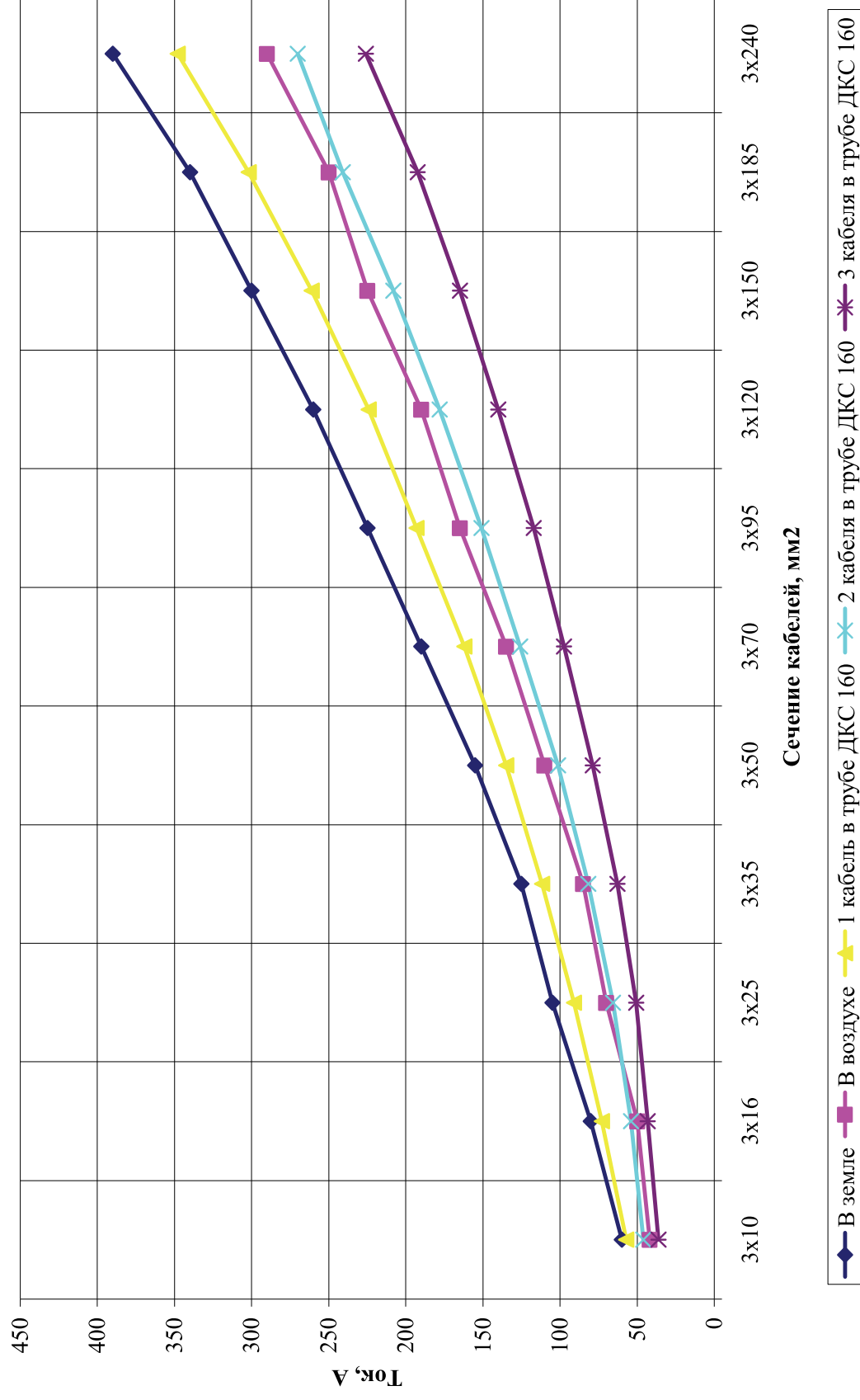


Рис.39 - Графики допустимых длительных токов для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслостойкой изоляцией и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ) сечением 10 – 240 мм², труба ДКС диаметром 160 мм

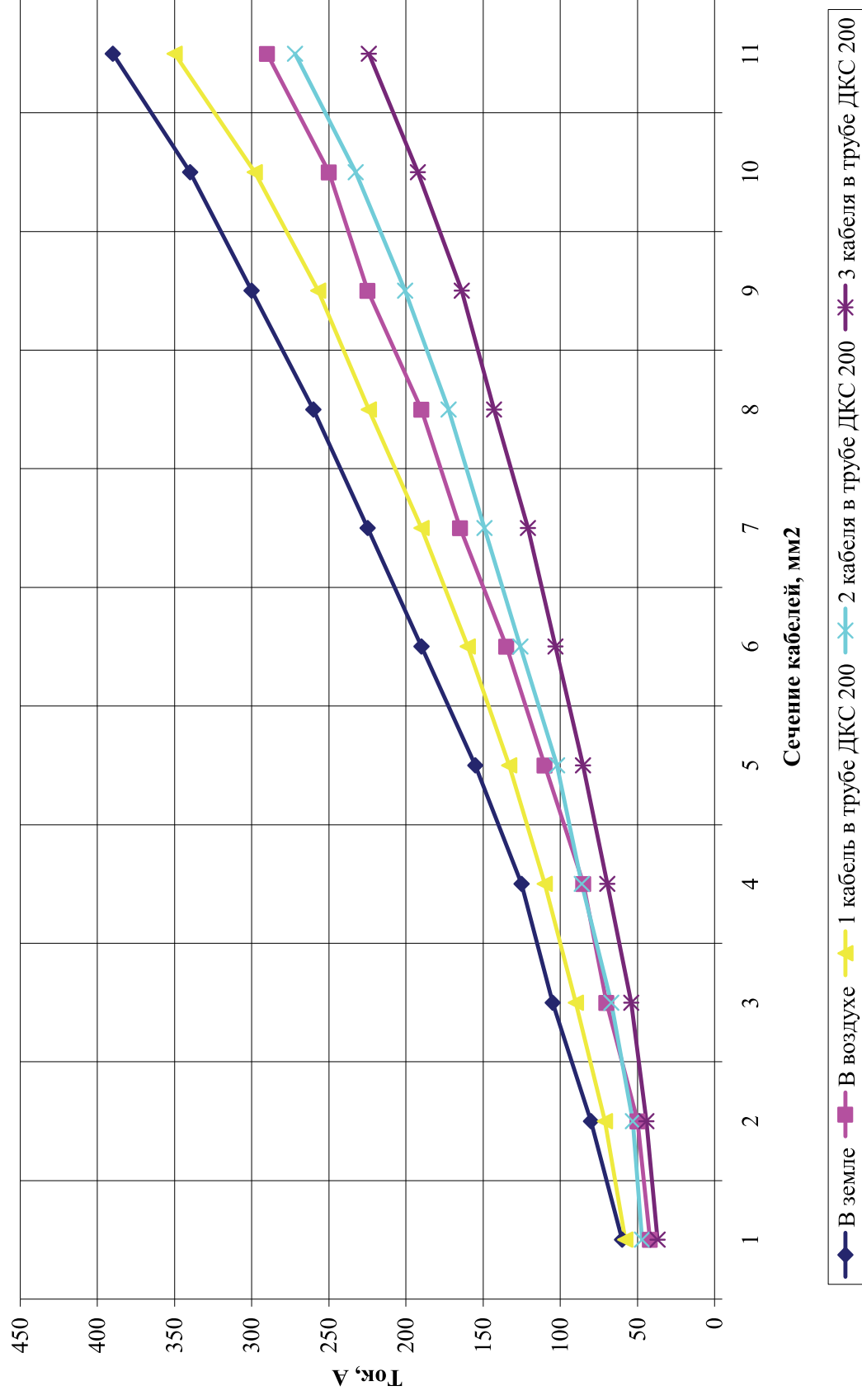


Рис.40 - Графики допустимых длительных токов для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной оболочкой и нестекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле (6 кВ) сечением 10 – 240 мм², труба ДКС диаметром 200 мм

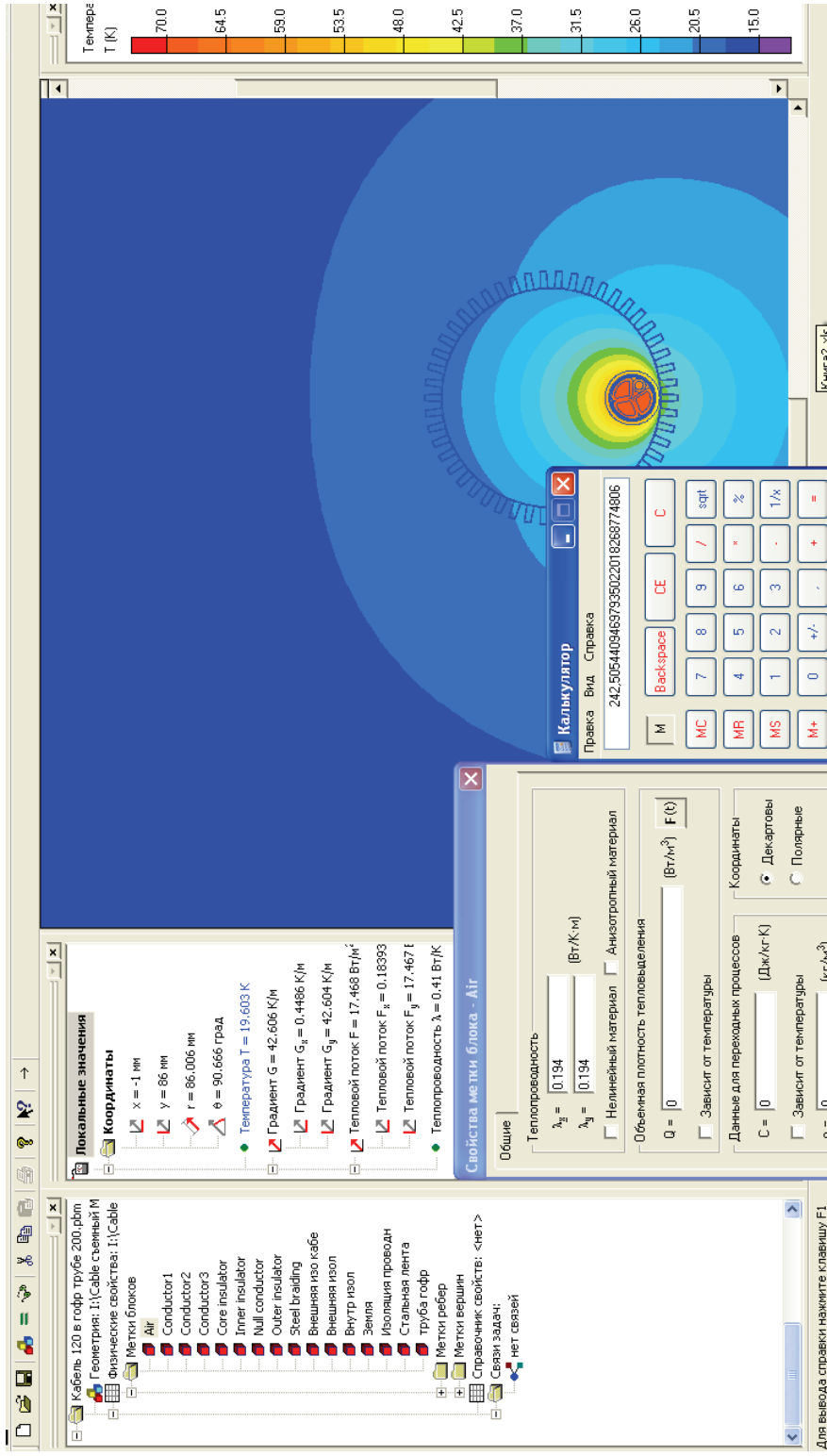


Рис.41 – Результаты расчета допустимого тока и температурного поля кабеля АВВГ 3х 120+1х 35, расположенного в трубе ДКС диаметром 200 мм

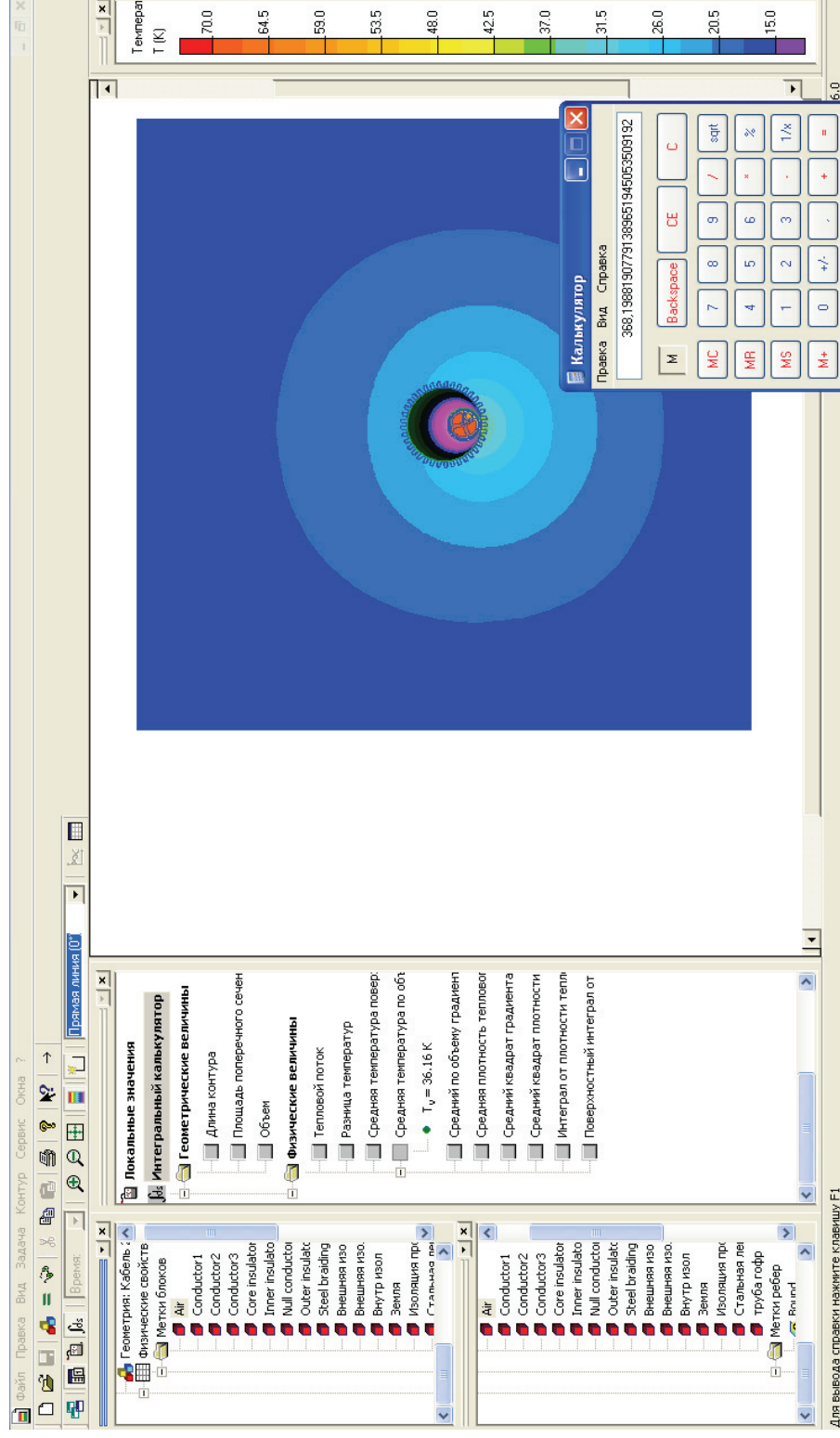


Рис.42 - Результаты расчета средней температуры в трубе ДКС диаметром 140 мм с кабелем АВВГ 3х240+1х70, $T_{cp} = 36,16^{\circ}\text{C}$

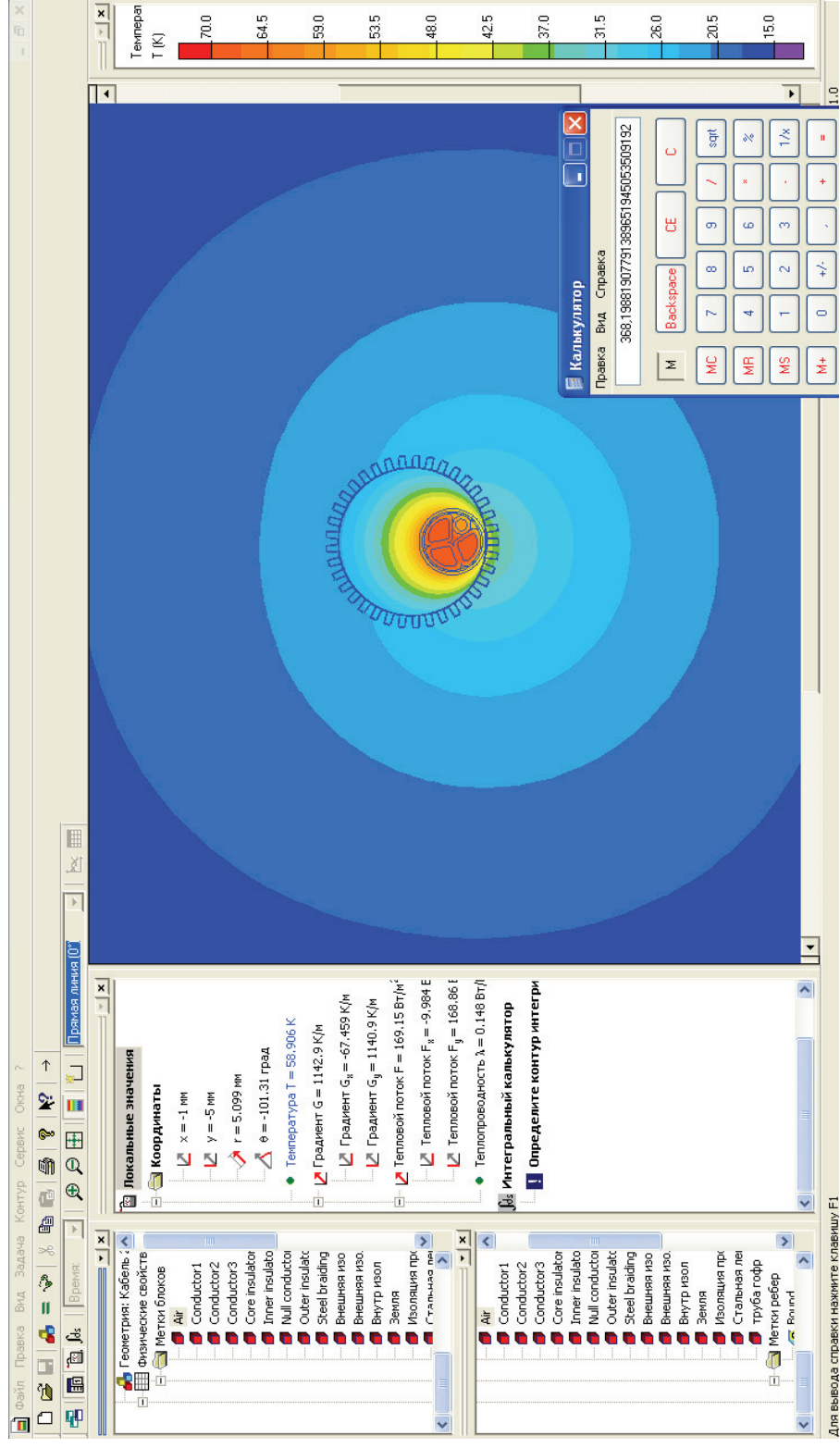


Рис.43 - Результаты расчета допустимого тока кабеля АВВГ 3х240+1х70, расположенного в трубе ДКС диаметром 140 мм

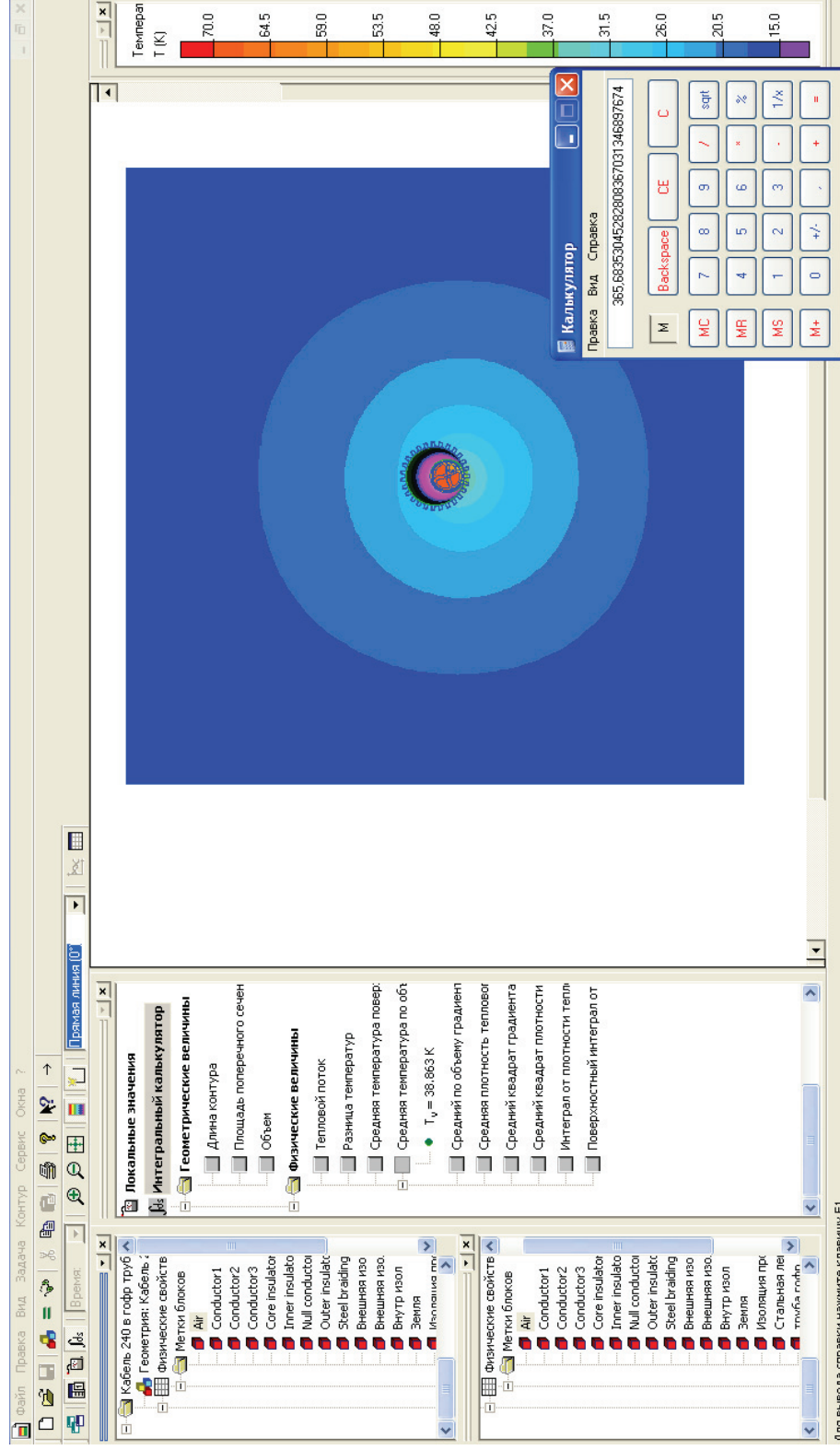


Рис.44 - Результаты расчета средней температуры в трубе ДКС диаметром 110 мм с кабелем АВВГ 3х 240+1х70, $T_{\text{ср}} = 38,86^{\circ} \text{C}$

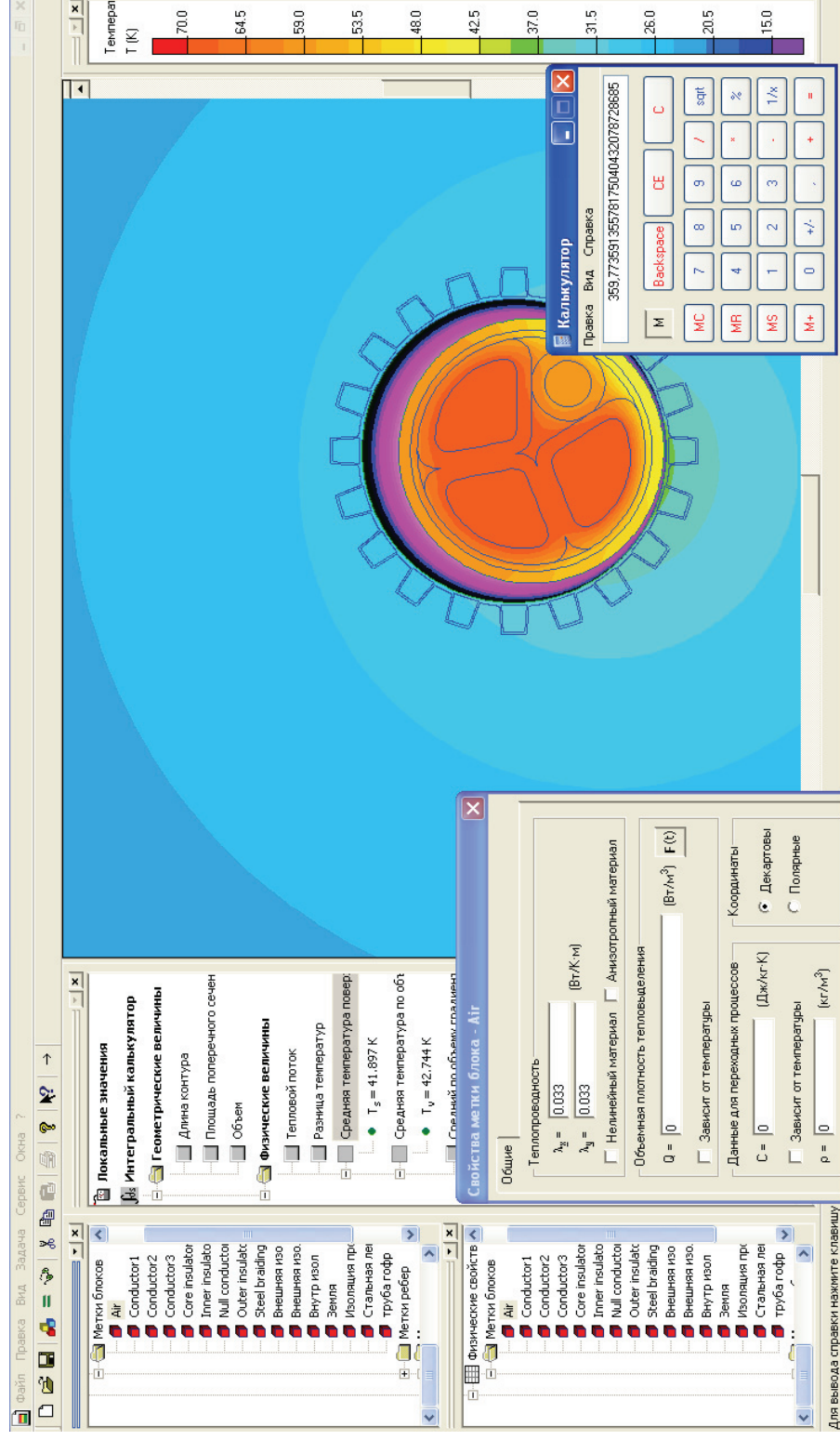


Рис. 45 - Результаты расчета допустимого тока и теплового температурного поля для гофрированной трубы ДКС диаметром 75 мм с тремя кабелями АВВГ 3х240+1х70

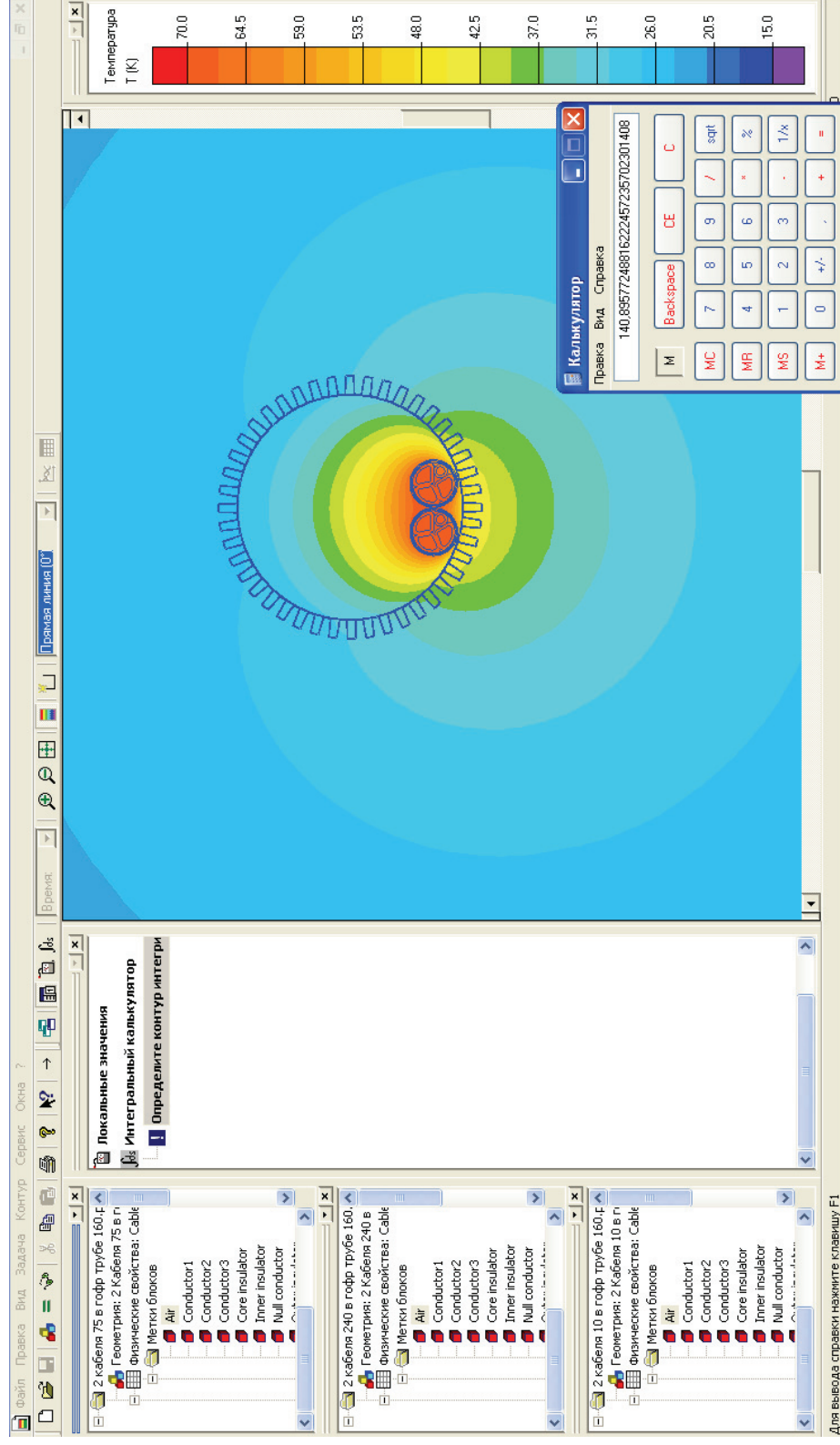


Рис. 46 - Результаты расчета допустимого тока и теплового температурного поля для гофрированной трубы ДКС диаметром 160 мм с двумя кабелями АВВГ 75

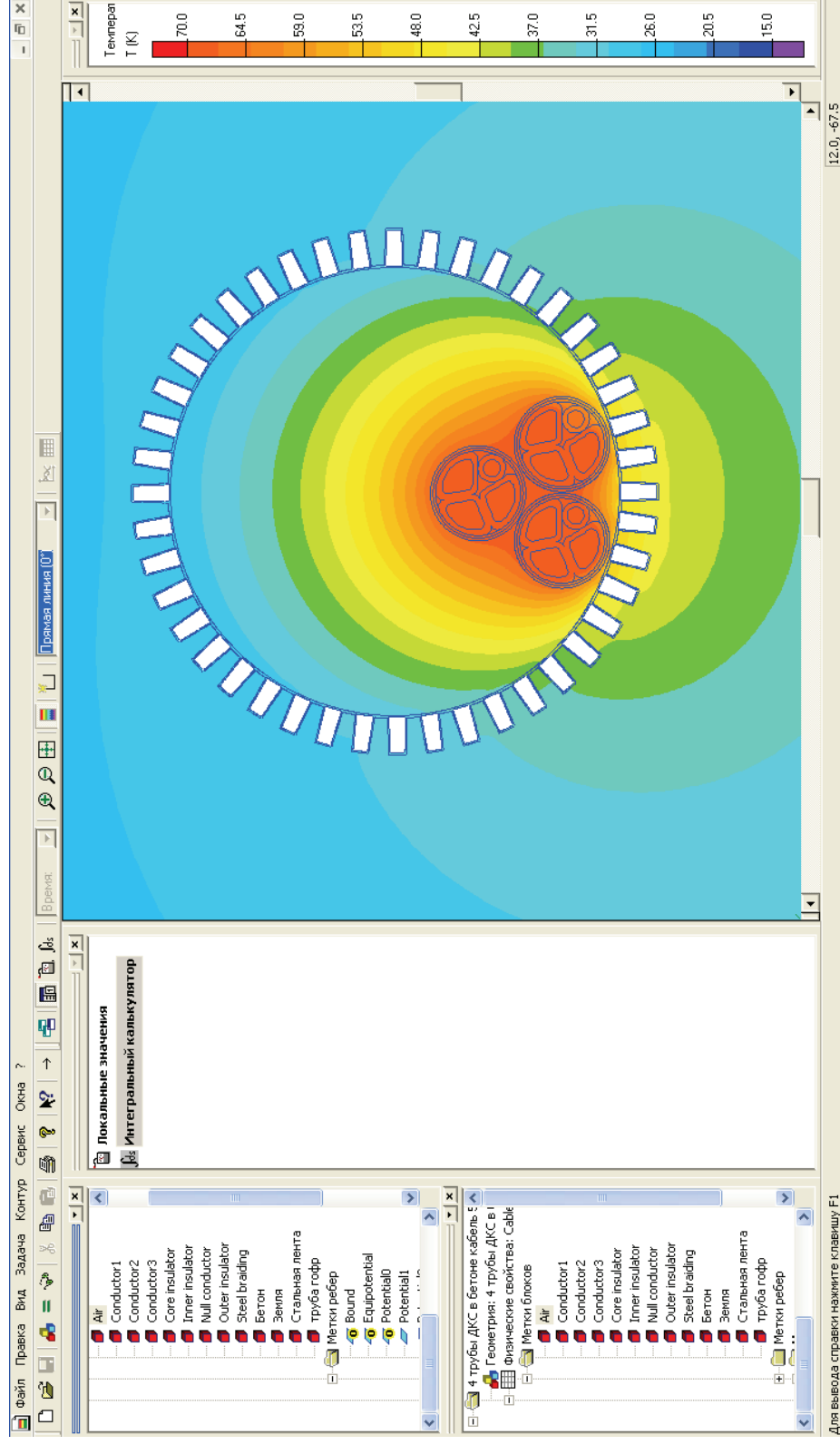


Рис.47 - Результаты расчета теплового температурного поля для гофрированной трубы ДКС диаметром 160 мм с тремя кабелями АВВГ 3x70+1x 25

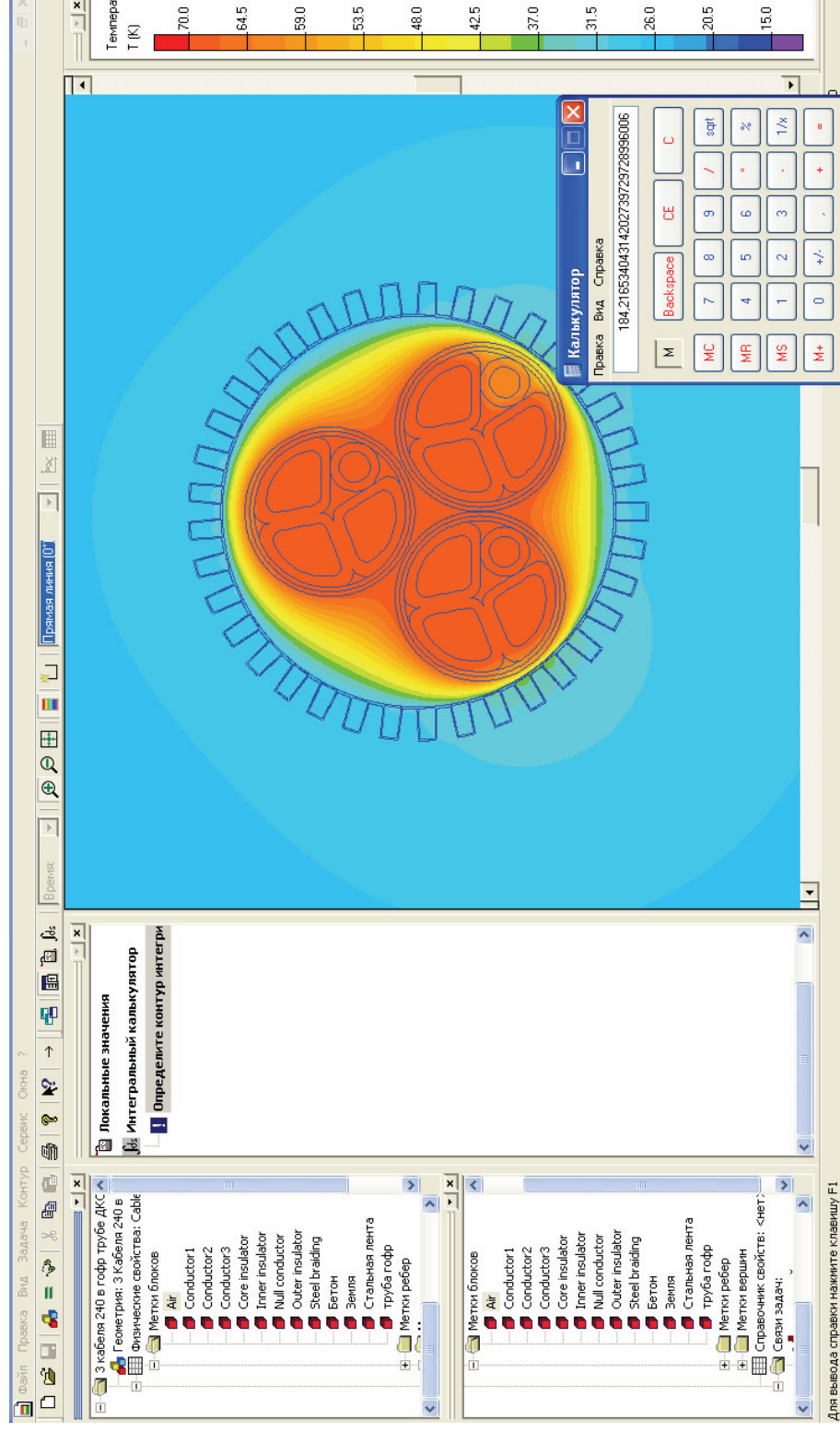


Рис. 48 - Результаты расчета допустимого тока и теплового температурного поля для гофрированной трубы ДКС диаметром 140 мм с тремя кабелями АВВГ 3х240+1х70

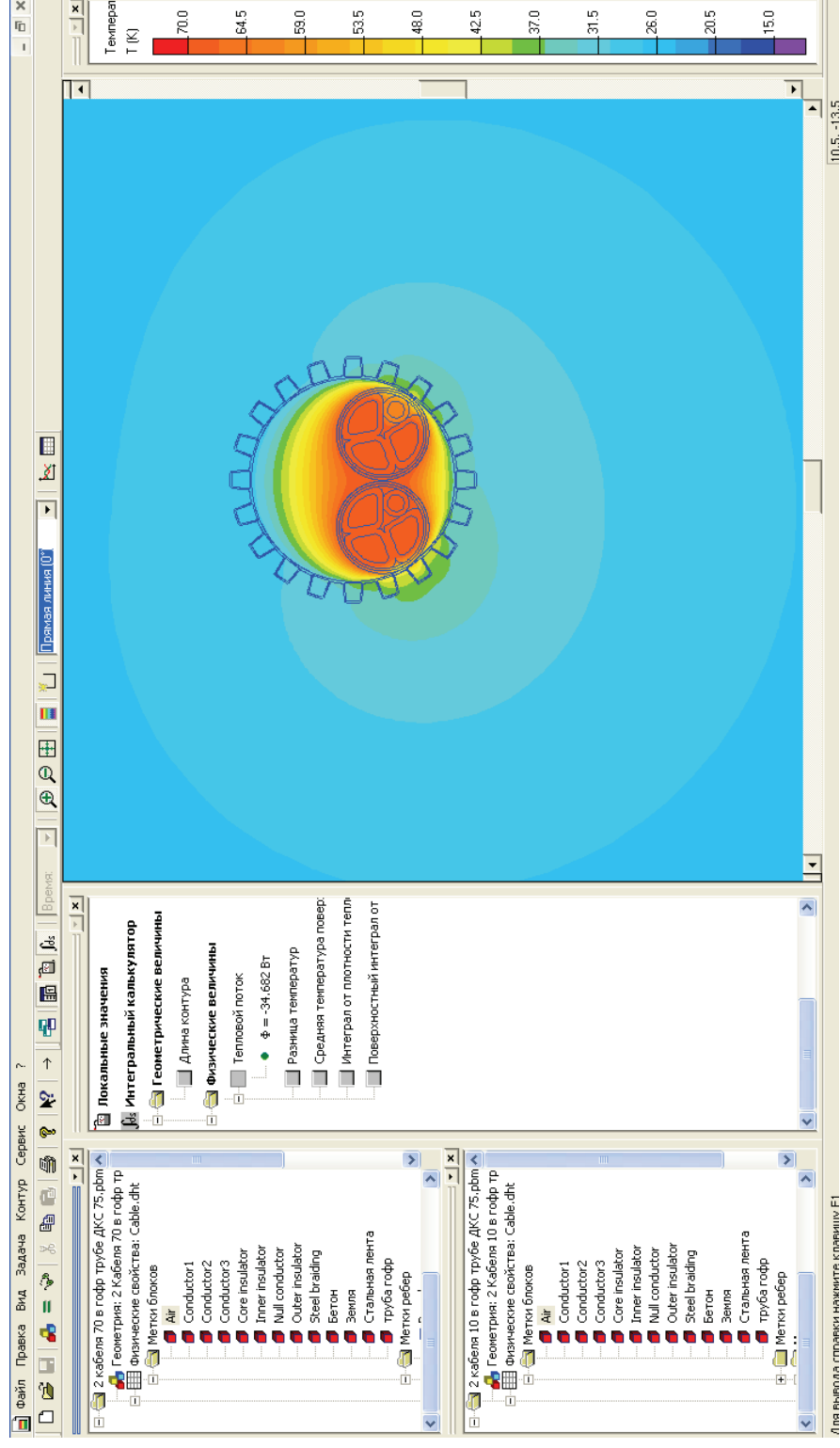


Рис. 49 – Результаты расчета температурного поля для гофрированной трубы ДКС диаметром 75 мм с двумя кабелями АВВГ 3х70+1х25

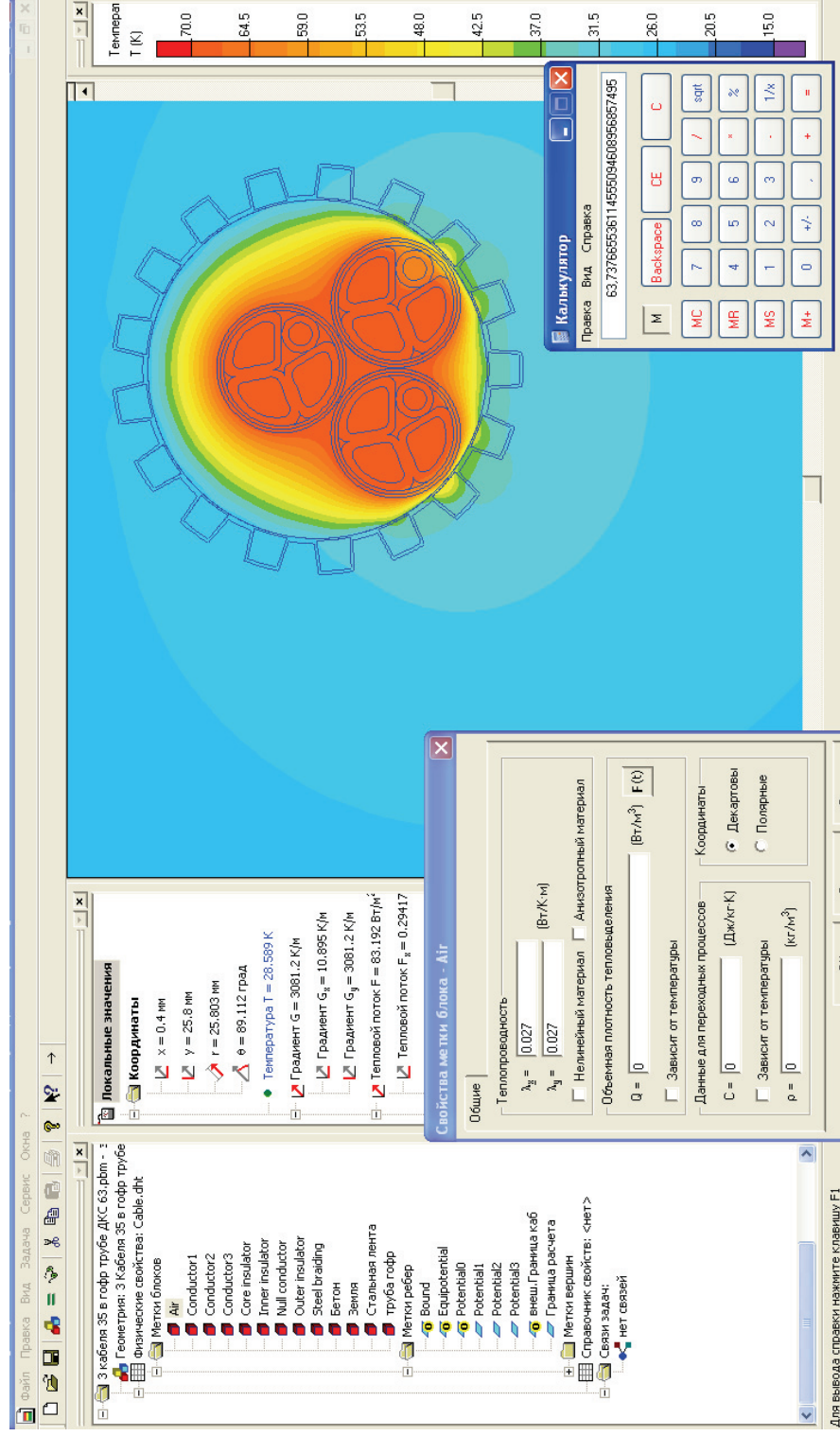


Рис. 50 – Результаты расчета допустимого тока и теплового температурного поля для гофрированной трубы ДКС диаметром 63 мм с тремя кабелями АВВГ 3х35 +1х16

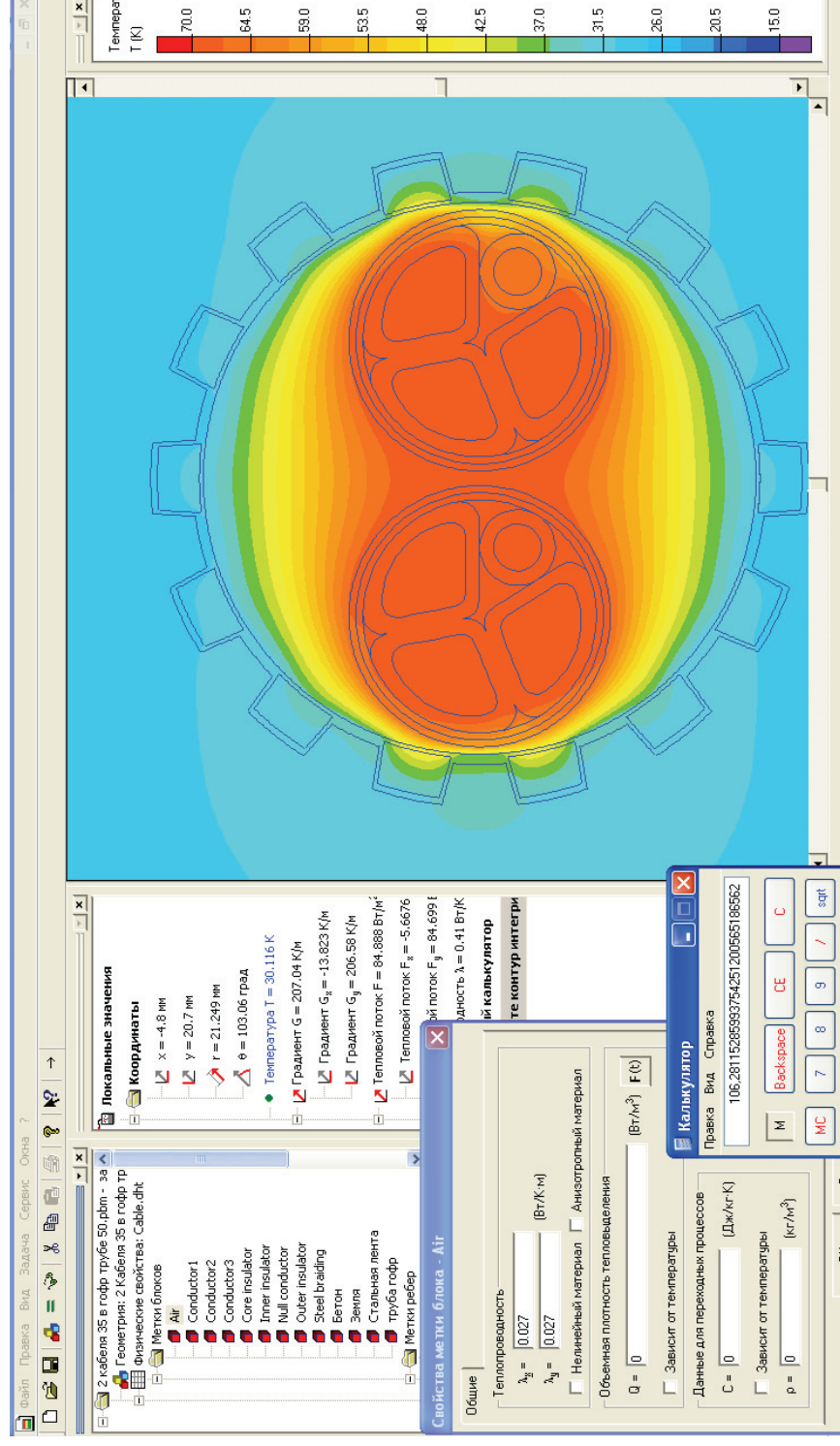


Рис. 51 - Результаты расчета допустимого тока и теплового температурного поля для гофрированной трубы ДКС диаметром 50 мм с двумя кабелями АВВГ 3х35 +1х16

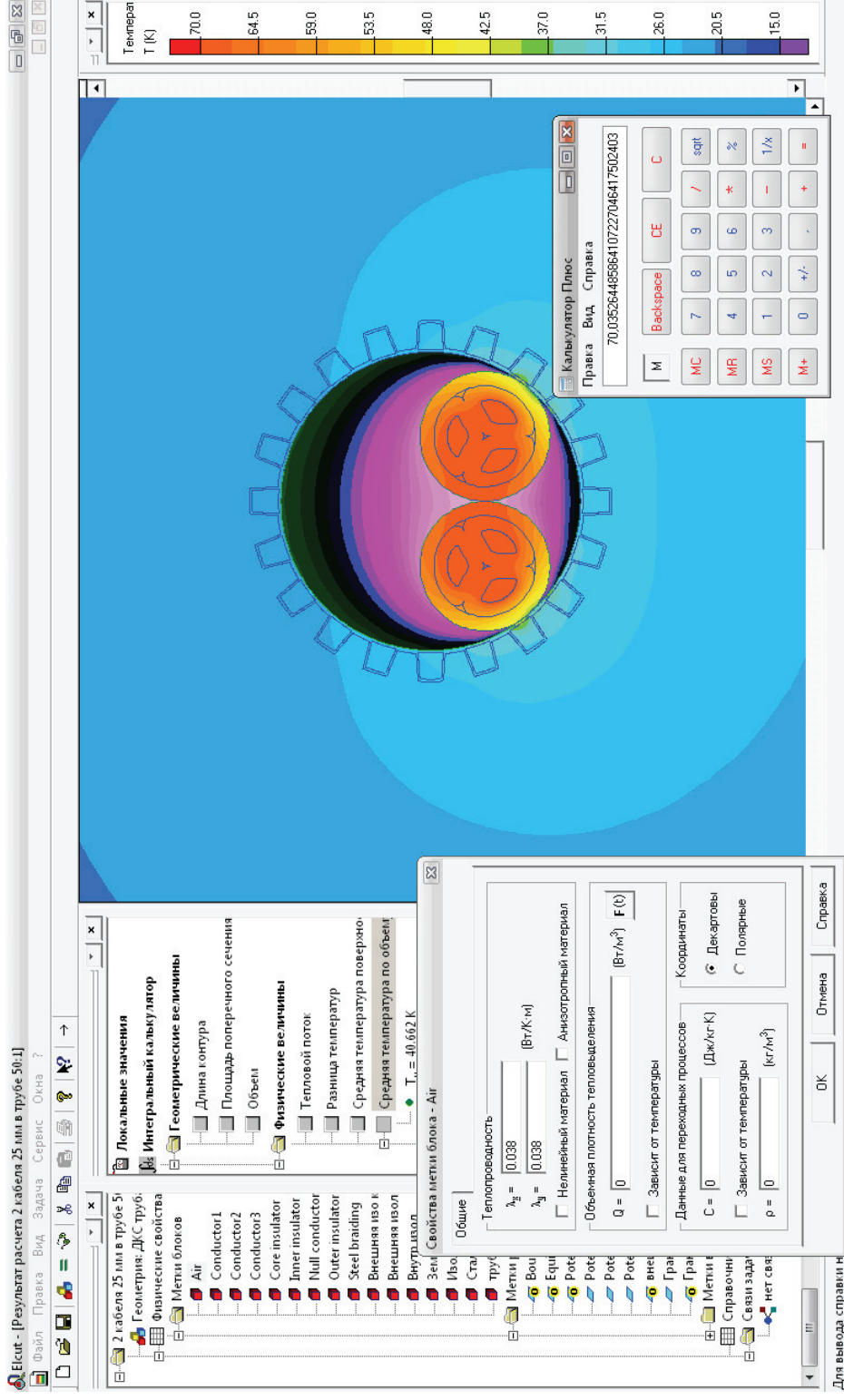


Рис. 53 - Результаты расчета допустимого тока и теплового температурного поля для гофрированной трубы ДКС диаметром 50 мм с двумя кабелями АПвВГ 3х25

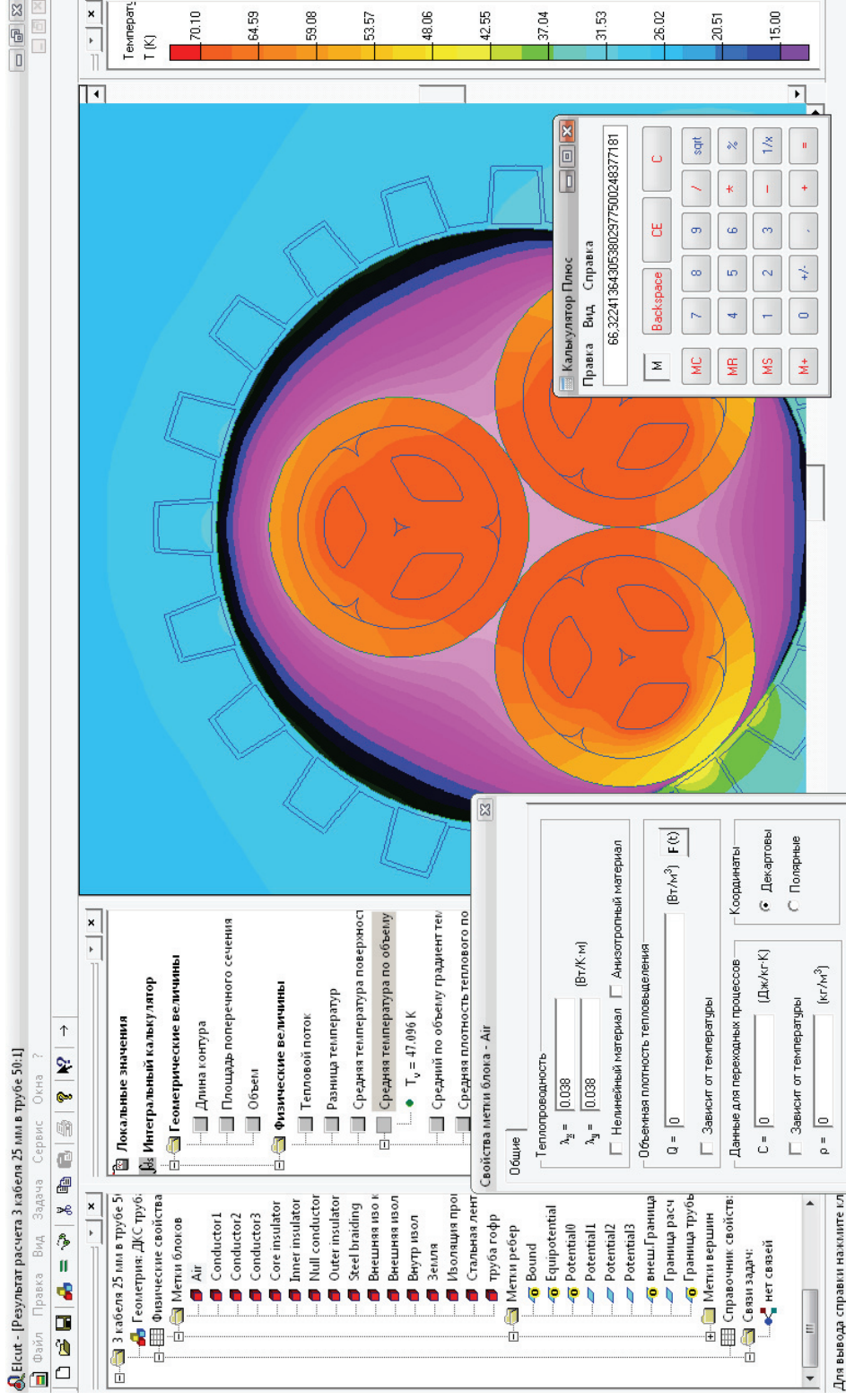
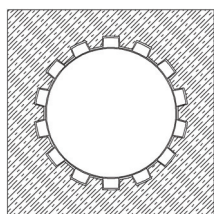


Рис. 54 - Результаты расчета допустимого тока и теплового температурного поля для гофрированной трубы ДКС диаметром 50 мм с тремя кабелями АПВГ 3х25 , $T_{\text{ср.тр}} = 47^{\circ}\text{C}$

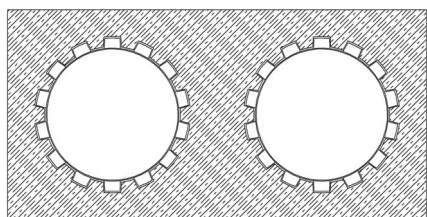
6 ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ В БЕТОННЫХ БЛОКАХ В ТРУБАХ ДКС

Схемы, рассмотренных контейнерных бетонных блоков, для прокладки кабелей в трубах ДКС

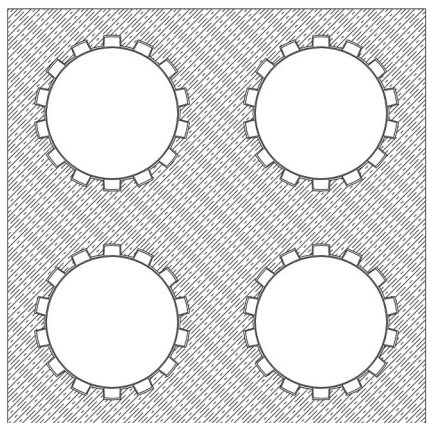
Контейнерные блоки разделены на шесть групп, отличающиеся количеством и расположением труб ДКС.



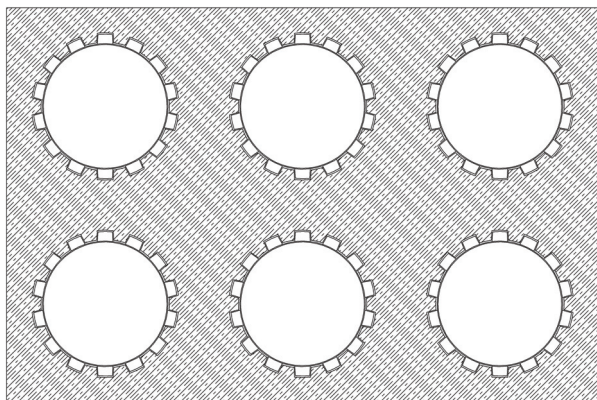
I группа



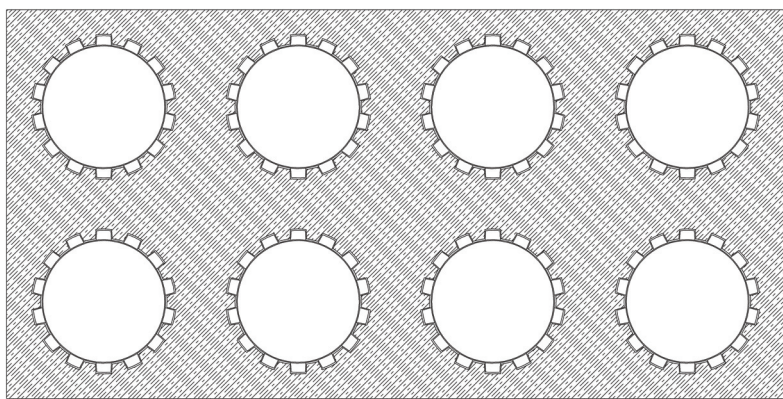
II группа



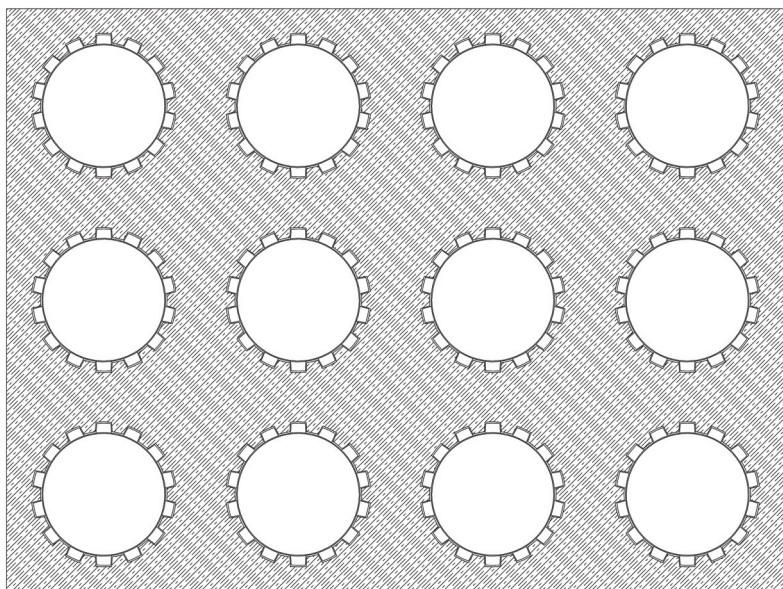
III группа



IV группа



V группа



VI группа

Допустимые длительные токи для кабелей, прокладываемых в блоках, следует определять по формуле:

$$I_{\partial} = abI_o,$$

где I_o - допустимый длительный ток для трехжильного кабеля напряжением 1,0 кВ с медными или алюминиевыми жилами, определяемый по табл. 40; a - коэффициент, выбираемый по табл. 41 в зависимости от сечения и расположения кабеля в блоке; b - коэффициент, выбираемый в зависимости от напряжения кабеля:

Номинальное напряжение кабеля, кВ.....	До 3	6	10
Коэффициент b	1,09	1,05	1,0

В таблице 40 представлены результаты расчета допустимого длительного тока для кабелей 1,0 кВ с медными или алюминиевыми жилами сечением 50 мм², прокладываемых в трубах ДКС в бетонных блоках.

При расчетах теплопроводность бетонных блоков $\lambda_{\text{бетон}}$ принималась равной 2,24 Вт/м·К.

Таблица 40 Допустимый длительный ток для кабелей 1,0 кВ с медными или алюминиевыми жилами сечением 50 мм², прокладываемых в бетонных блоках в трубах ДКС.

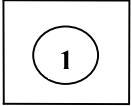
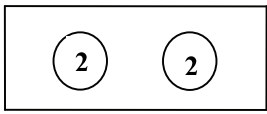
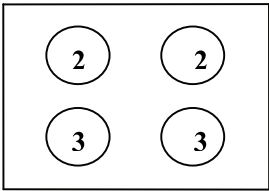
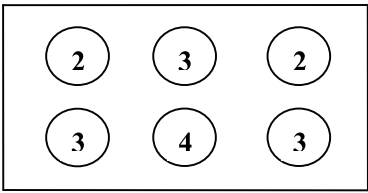
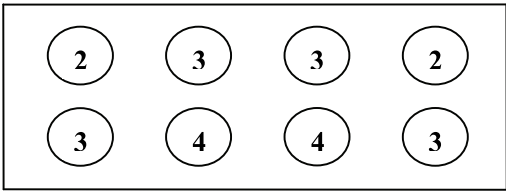
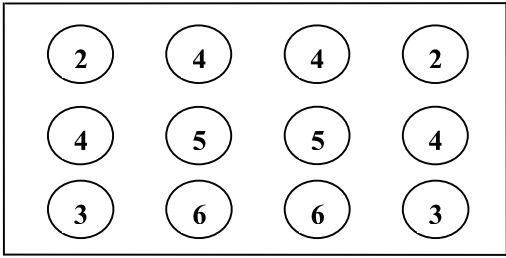
Группа	Конфигурация расположения труб с кабелями в бетонных блоках	№ канала	Ток I_0 , А для кабелей	
			медных	алюминиевых
I		1	170	123
II		2	150	115
III		2	130	110
		3	136,4	105
IV		2	127	98
		3	122	94
		4	118	91
V		2	119	91,5
		3	113	87
		4	110	85
VI		2	105,3	81
		3	102	78,5
		4	99	76
		5	93,5	72
		6	89,6	69

Таблица 41. Поправочные коэффициенты для кабелей разных сечений в зависимости от места их расположения в бетонных блоках.

Сечение токо- проводящей жилы, мм ²	Коэффициент для номера канала в блоке					
	1	2	3	4	5	6
25	0,67	0,68	0,69	0,73	0,74	0,75
35	0,81	0,83	0,83	0,85	0,87	0,88
50	1	1	1	1	1	1
70	1,20	1,21	1,21	1,19	1,185	1,18
95	1,48	1,44	1,44	1,40	1,38	1,37
120	1,69	1,62	1,62	1,56	1,54	1,53
150	1,93	1,86	1,85	1,75	1,73	1,72
185	2,21	2,09	2,07	1,92	1,9	1,88
240	2,59	2,40	2,37	2,13	2,1	1,99

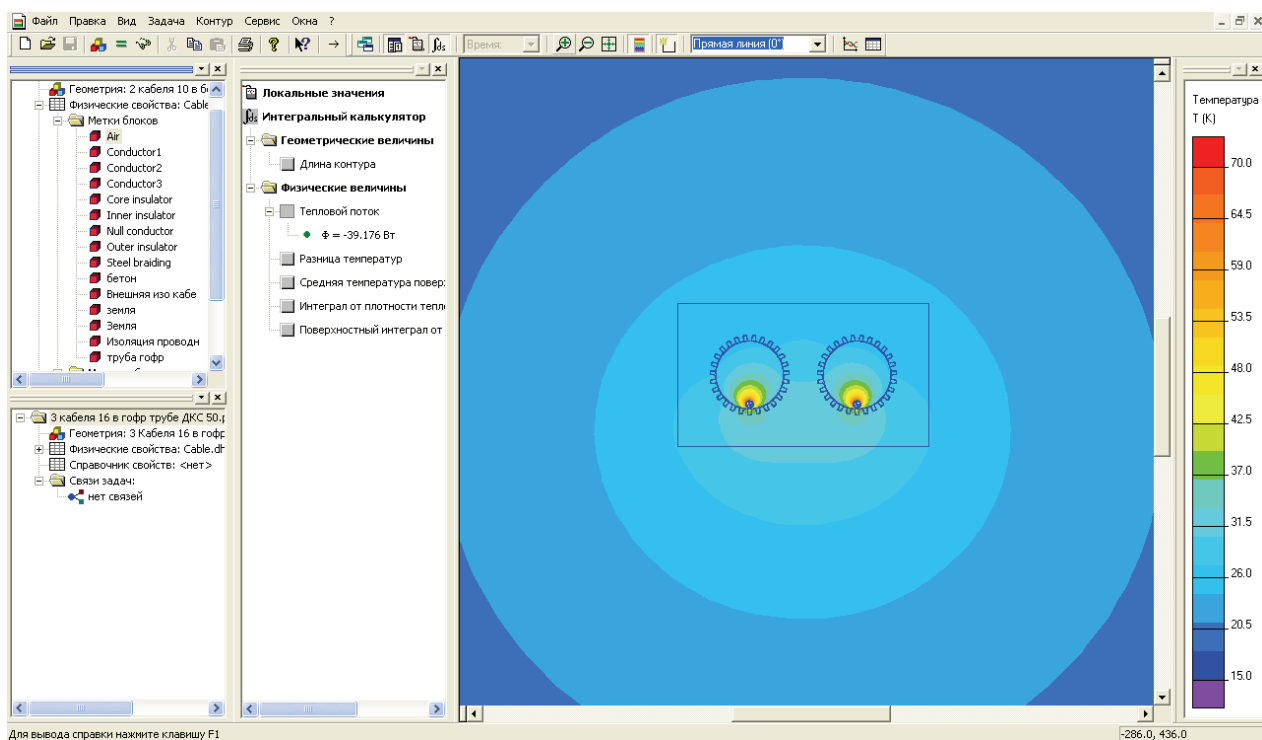


Рис.49 - Картина теплового поля при прокладке кабелей АВВГ 10 в трубах ДКС диаметром 110 мм, находящихся в бетонном блоке в земле

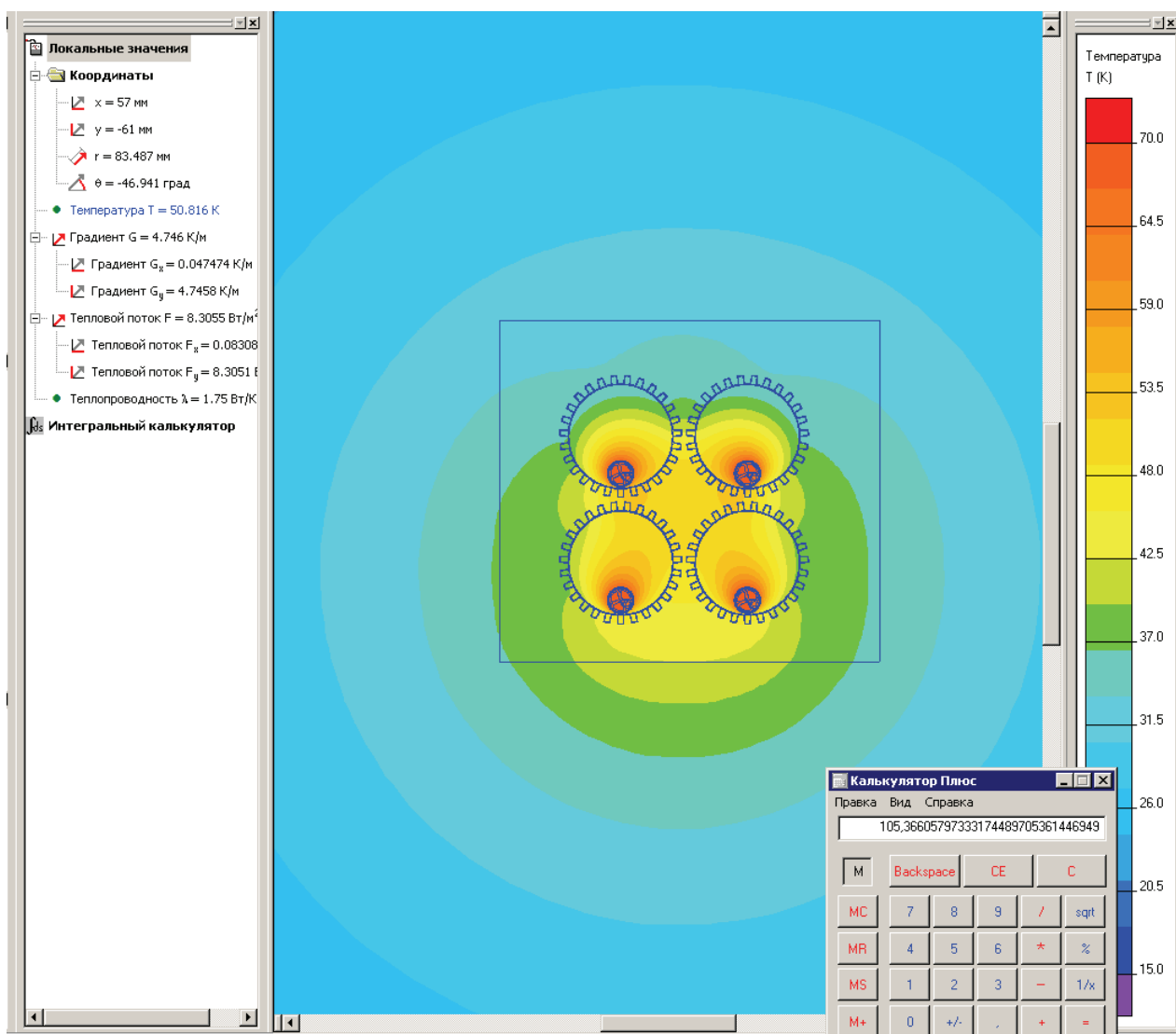


Рис.50 - Картина температурных полей в бетонном блоке с четырьмя трубами ДКС диаметром 110 мм и кабелями АВВГ 3х50 мм².

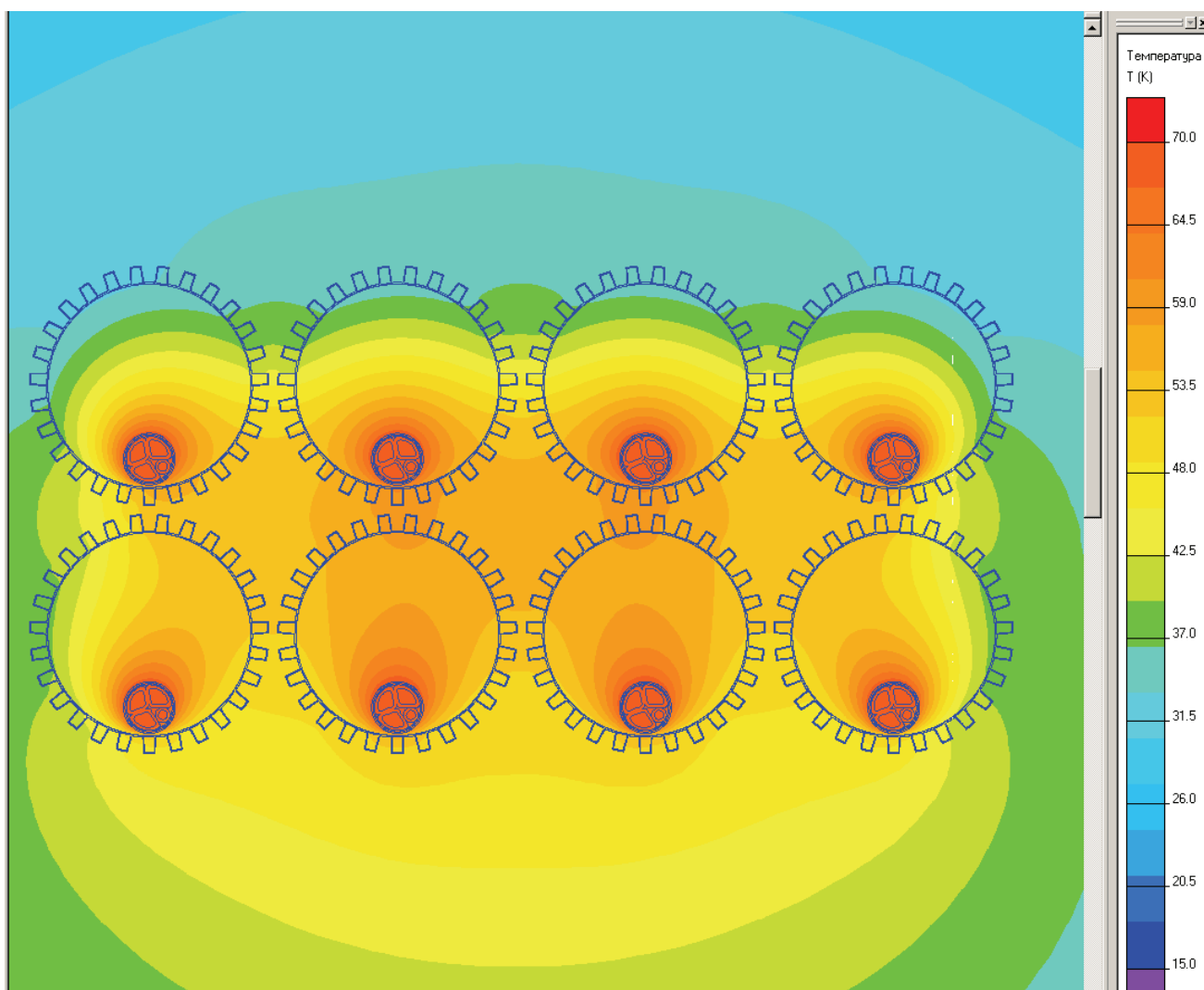


Рис.51 - Результаты расчета температурных полей в бетонном блоке -8 труб ДКС диаметром 110 мм с кабелями АВВГ 50 мм².

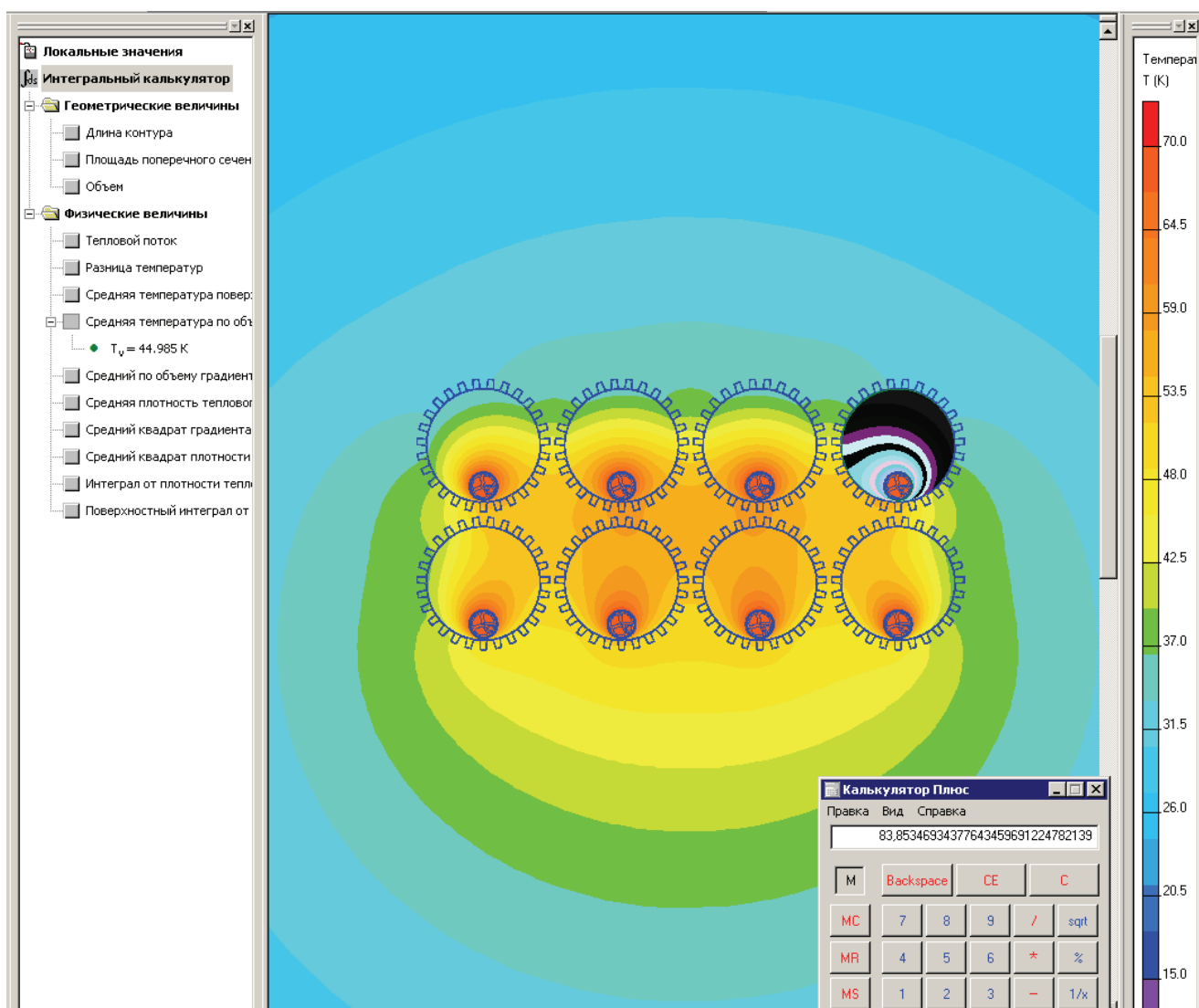


Рис.52 - Результаты расчета средней температуры в правой крайней трубе верхнего ряда (группа V, канал 2) $T_{cp} = 45,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

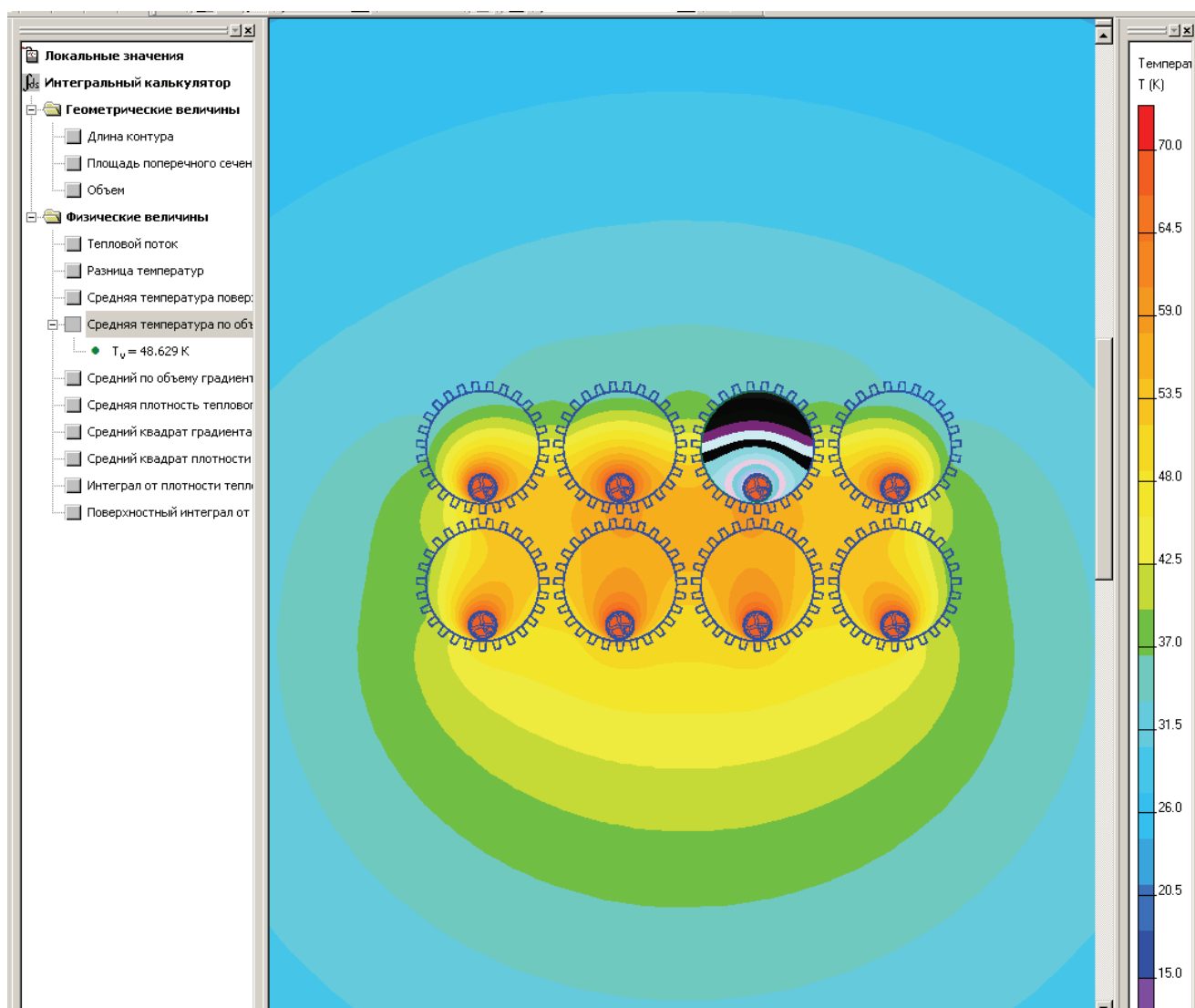


Рис.53 – Результаты расчета средней температуры в канале 3 верхнего ряда (группа V)
 $T_{cp} = 48,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

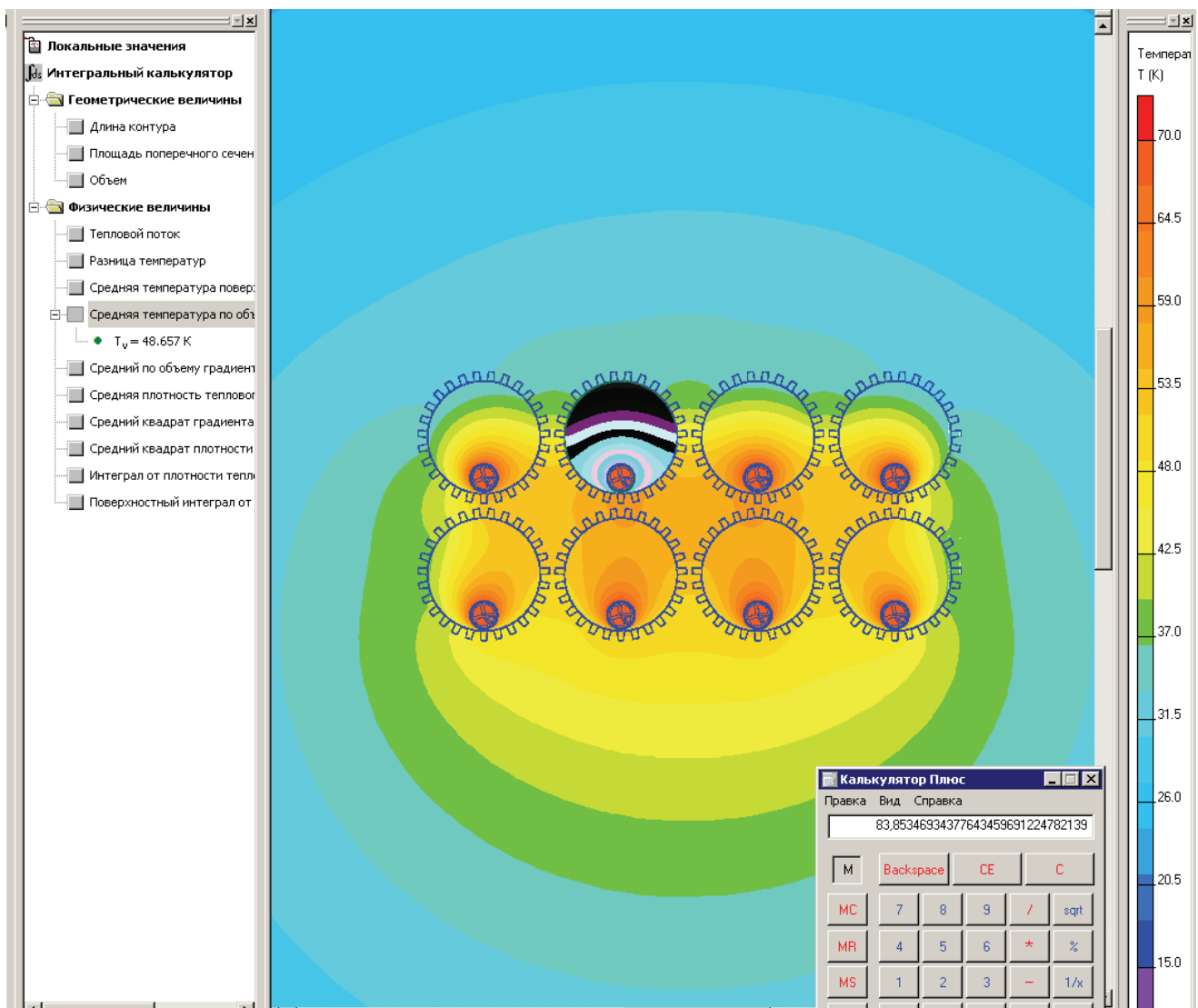


Рис.54 – Результаты расчета средней температуры в канале 2 верхнего ряда (группа V)
 $T_{cp} = 48,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$

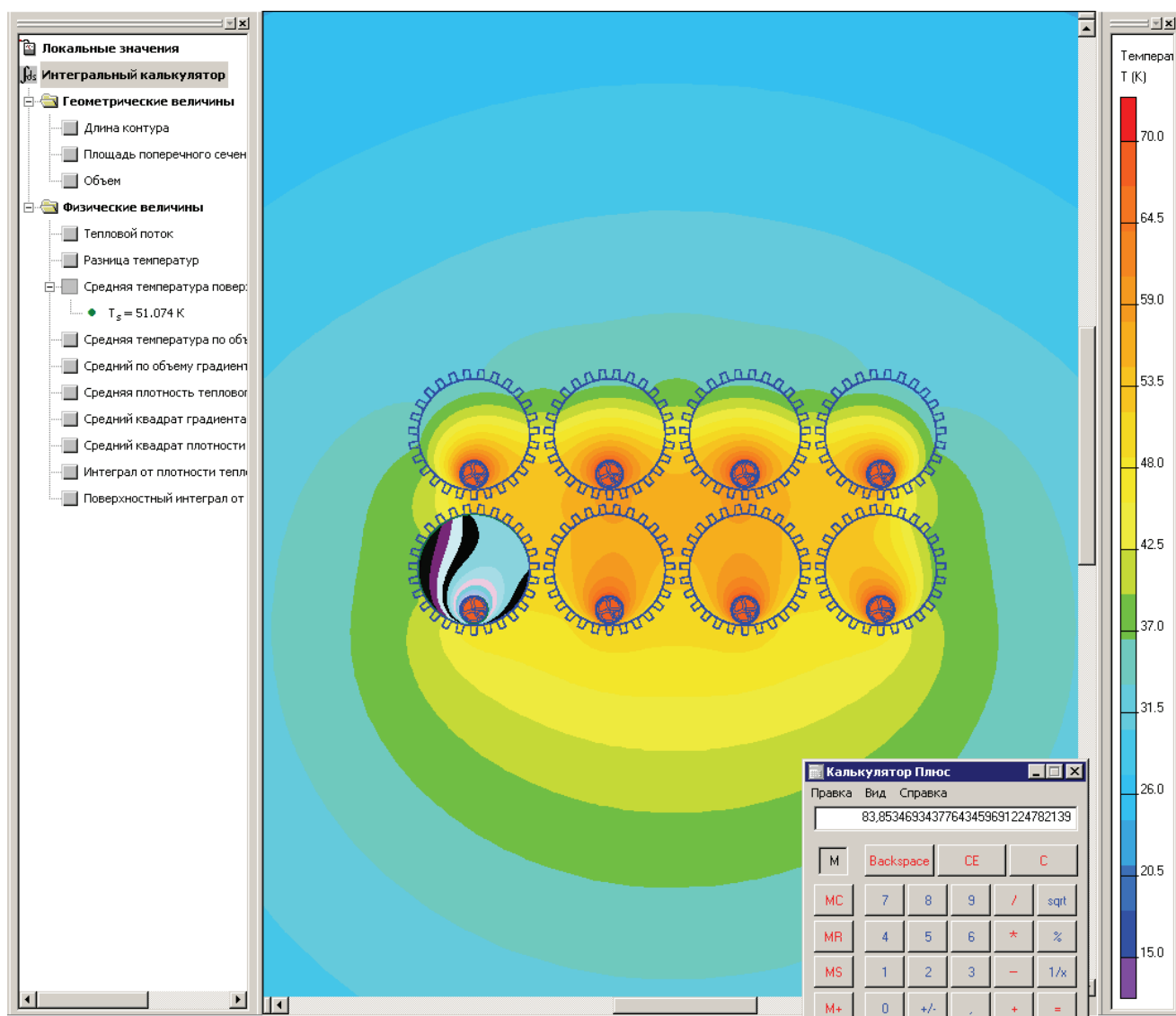


Рис.55 - Результаты расчета средней температуры в канале 1 нижнего ряда (группа V) $T_{cp} = 51,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

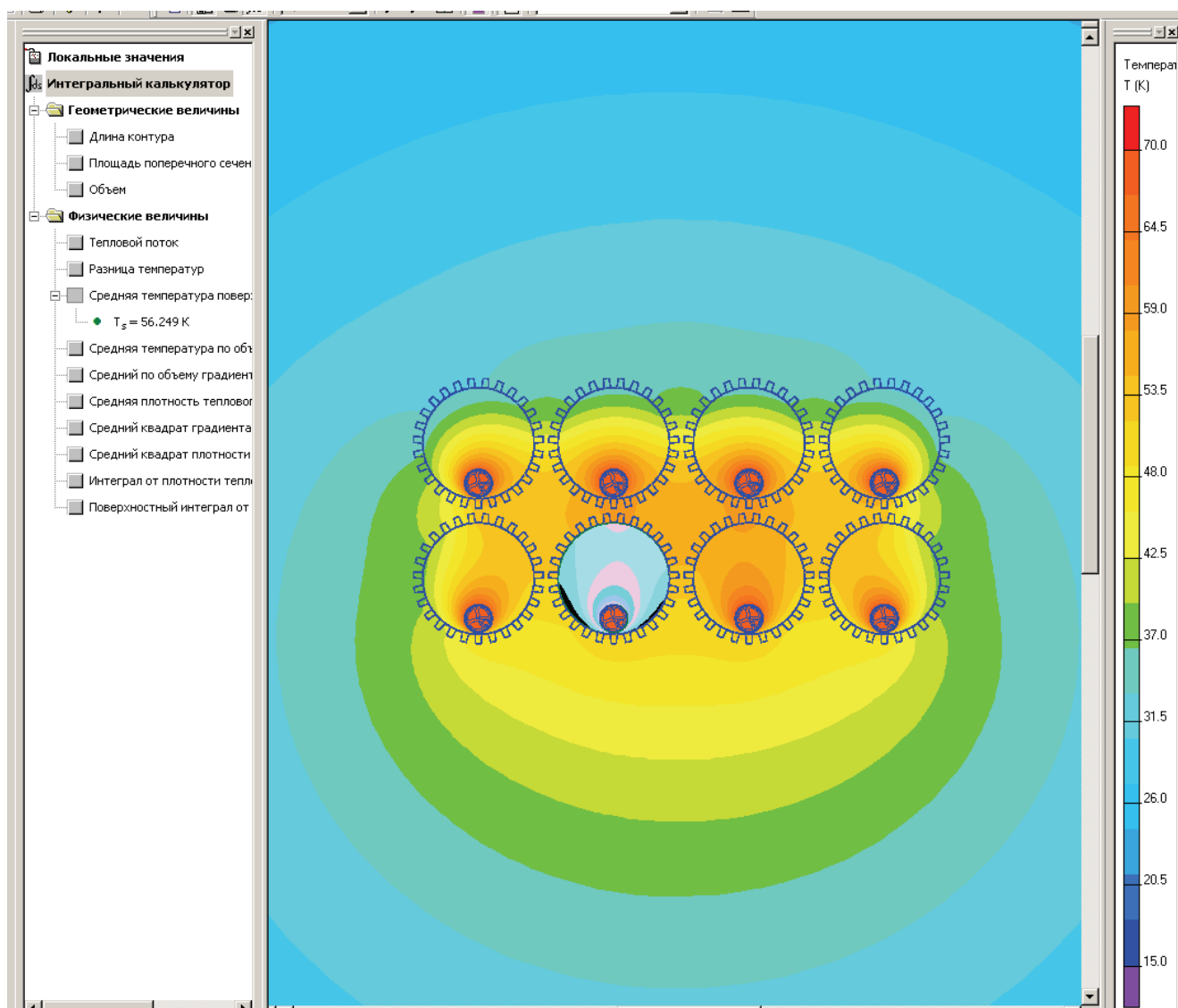


Рис.56 - Результаты расчета средней температуры в канале 2 нижнего ряда (группа V) $T_{cp} = 56,2^{\circ}\text{C}$.

Разность средних температур между наиболее нагретой трубой и наиболее холодной трубой в группе V достигает $11,3^{\circ}\text{C}$. Максимальная средняя температура наблюдается в канале 3 нижнего ряда и составляет $56,2^{\circ}\text{C}$. Минимальная средняя температура наблюдается в канале 2 верхнего ряда и составляет $44,98^{\circ}\text{C}$.

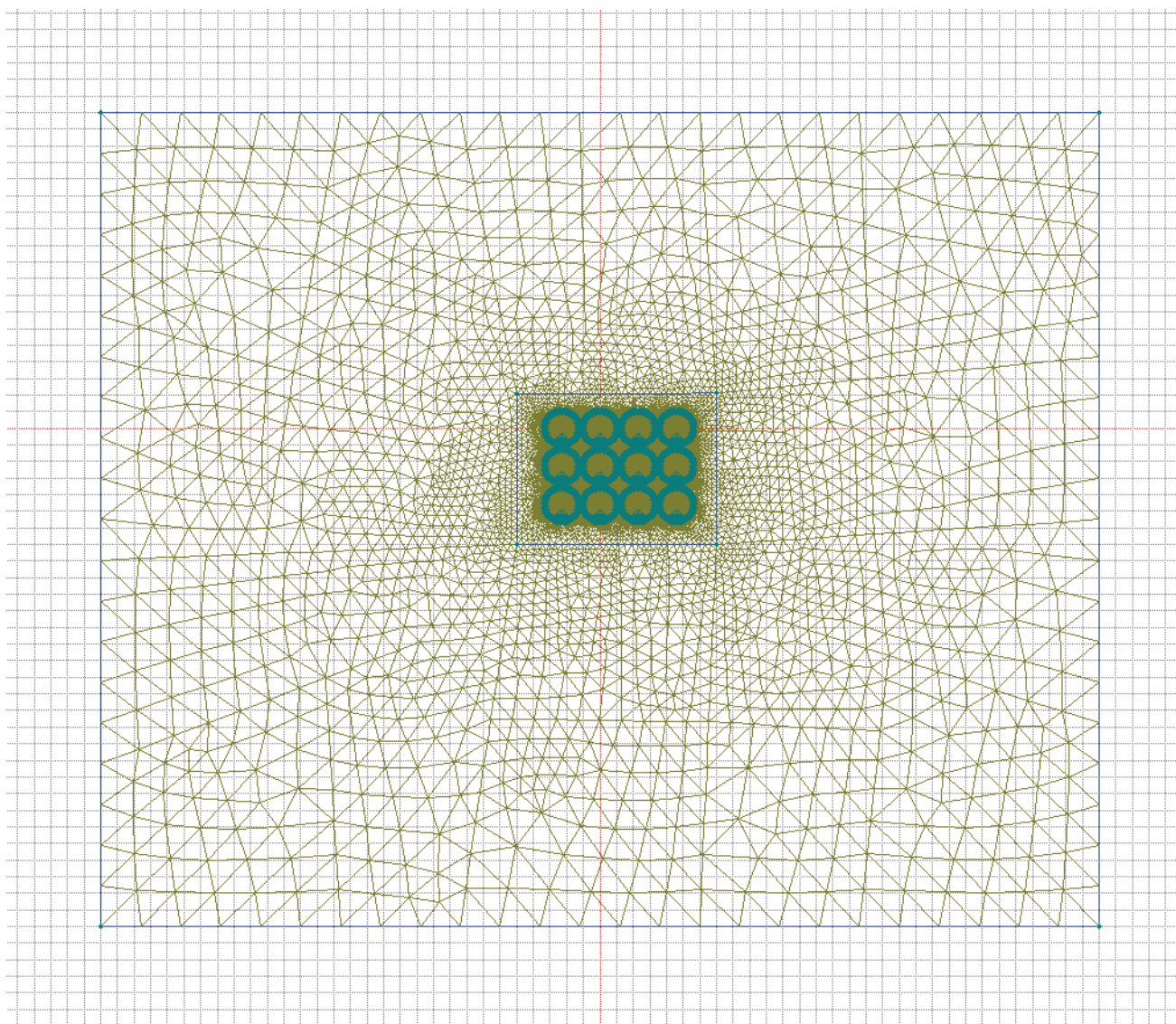


Рис.57 - Расчетная сетка задачи «12 труб ДКС диаметром 110 мм в бетонном блоке».

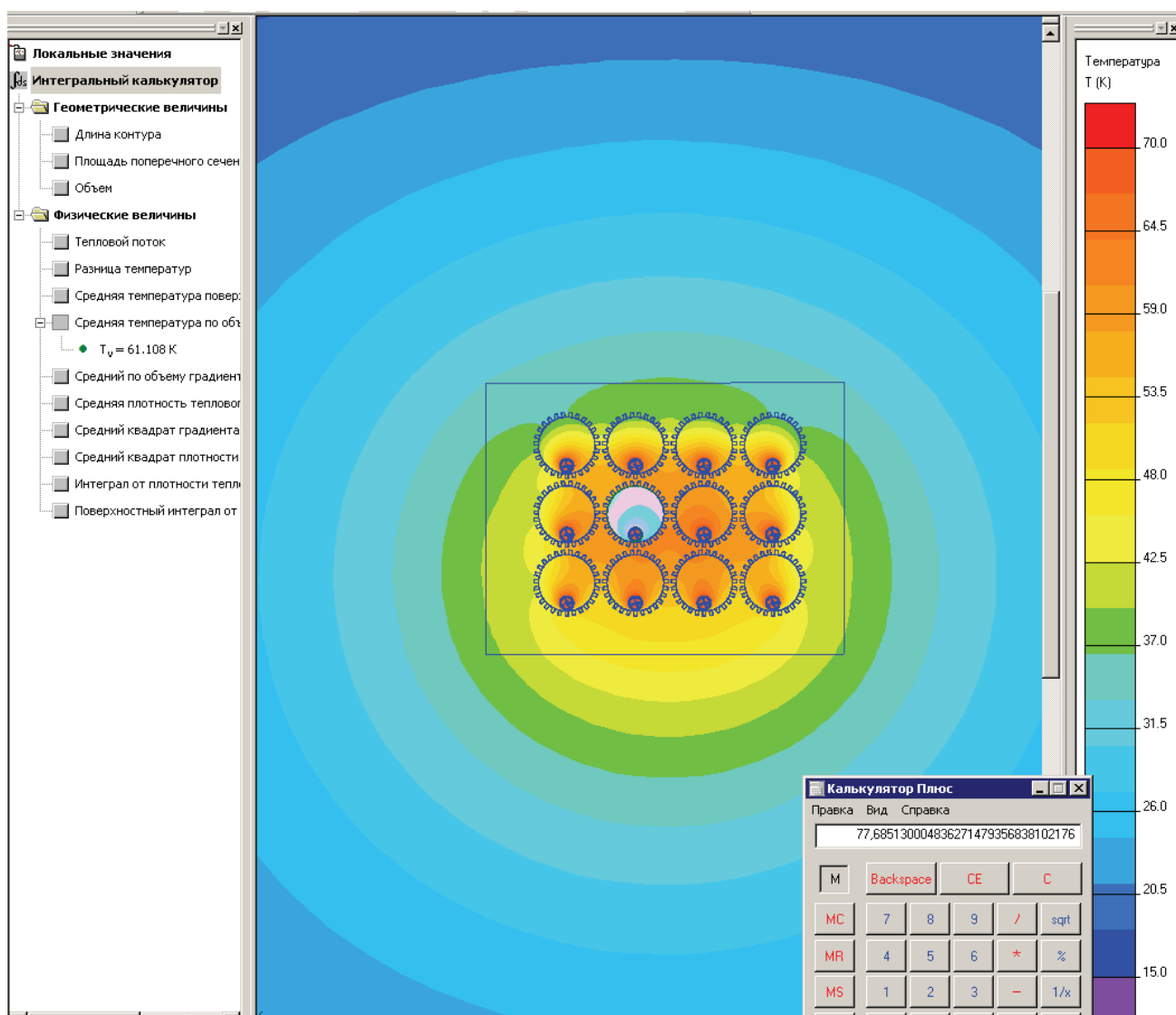


Рис.58 - Результаты расчета средней температуры в канале 4 среднего ряда (группа VI) $T_{cp} = 61,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

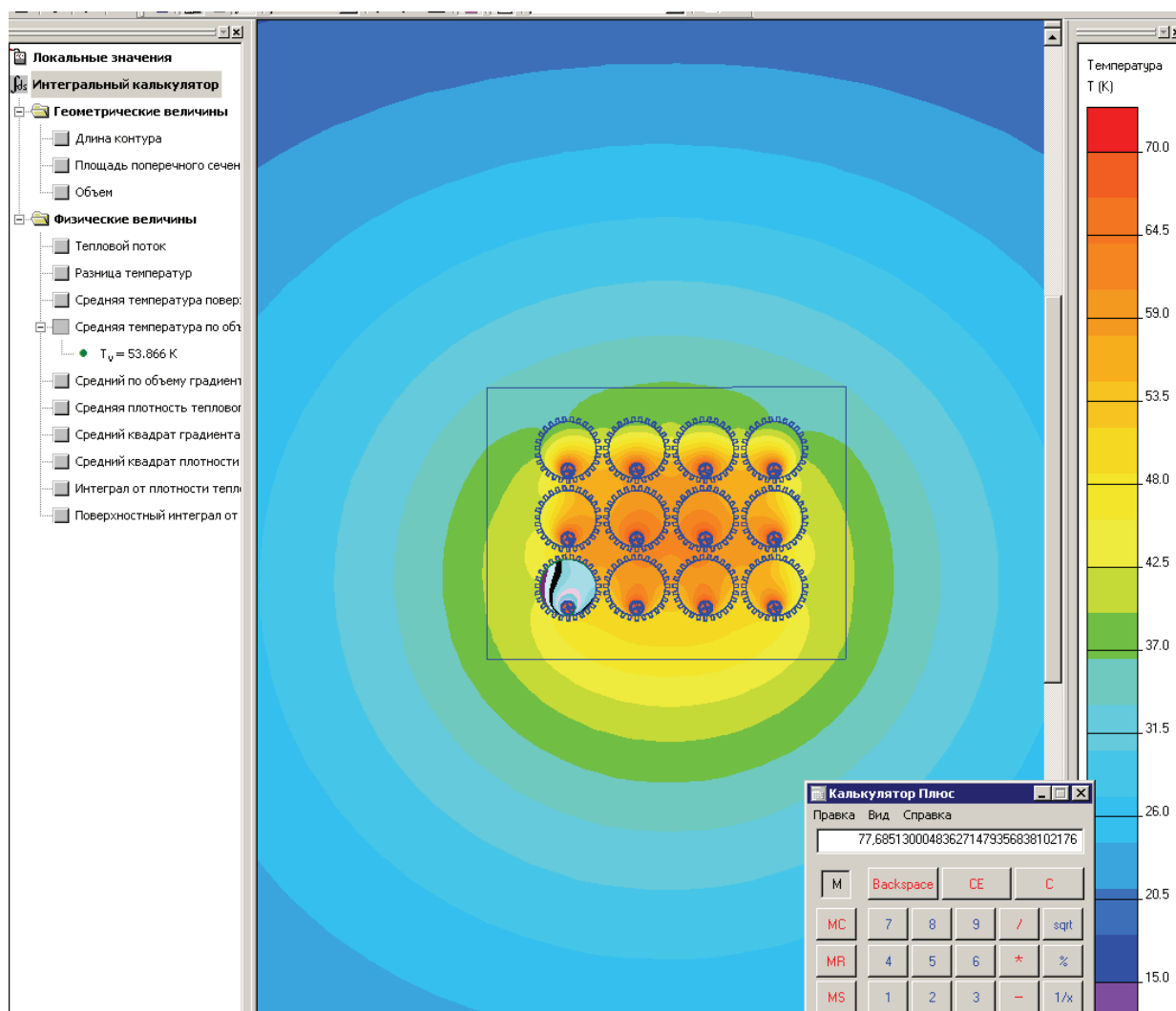


Рис.59 – Результаты расчета средней температуры в канале 2 нижнего ряда (группа VI)
 $T_{cp} = 43,8^{\circ}\text{C}$

Разность средних температур между наиболее нагретой трубой и наиболее холодной трубой в группе VI достигает $19,1^{\circ}\text{C}$. Максимальная средняя температура наблюдается в канале 4 среднего ряда и составляет $61,2^{\circ}\text{C}$. Минимальная средняя температура наблюдается в канале 1 верхнего ряда и составляет $42,1^{\circ}\text{C}$.

Допустимые длительные токи кабелей, приведенные в табл. 13 – 21, распространяются и на кабели с поливинилхлоридной изоляцией в алюминиевой и поливинилхлоридной оболочках. Они приняты для температур: жил $+70^{\circ}\text{C}$ и земли $+15^{\circ}\text{C}$, удельном тепловом сопротивлении: земли $\lambda=1,2 \text{ м}^{\circ}\text{C/Вт}$, бетона $\lambda=2,2 \text{ м}^{\circ}\text{C/Вт}$.

При удельном сопротивлении земли, отличающемся от $1,2 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, необходимо к токовым нагрузкам, указанным в упомянутых ранее таблицах, применять поправочные коэффициенты, указанные в табл. 42.

Таблица 42. Поправочные коэффициенты на допустимый длительный ток для кабелей, проложенных в земле, в зависимости от удельного сопротивления земли.

Характеристика земли	Удельное сопротивление $\text{см} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	Поправочный коэффициент
Песок влажностью более 9 %, песчано-глинистая почва влажностью более 1 %	80	1,05
Нормальная почва и песок влажностью 7 - 9 %, песчано-глинистая почва влажностью 12 - 14 %	120	1,00
Песок влажностью более 4 и менее 7 %, песчано-глинистая почва влажностью 8 - 12 %	200	0,87
Песок влажностью до 4 %, каменистая почва	300	0,75

Для определения токовых нагрузок четырехжильных кабелей с жилами равного сечения в четырехпроводных сетях при нагрузке во всех жилах в нормальном режиме данные нагрузки должны быть умножены на коэффициент 0,93.

Для учета взаимного влияния кабелей, лежащих в одном ряду в земле (в трубах ДКС) можно пользоваться значениями таблицы поправочных коэффициентов таблица 43. При этом нужно учитывать не расстояние между кабелями, а расстояние между трубами ДКС.

Таблица 43. Поправочные коэффициенты на количество работающих кабелей, лежащих в одном ряду в земле (в трубах ДКС)

Расстояние между трубами ДКС в свету, мм ²	Коэффициент при количестве кабелей					
	2	3		5		
		Средний кабель	Боковые кабели	1-й и 5-й кабели в ряду	2-й и 4 кабели в ряду	3-й кабель в ряду
100	0,92	0,86	0,89	0,88	0,84	0,79
200	0,93	0,88	0,91	0,9	0,86	0,83
300	0,95	0,91	0,93	0,91	0,89	0,87

Для учета фактической температуры земли можно пользоваться значениями таблицы поправочных коэффициентов из ПУЭ. В таблицу добавлены две строки для температуры жил кабеля 70 и 90 градусов.

Таблица 44. Поправочные коэффициенты на токи для кабелей, проложенных в трубах ДКС, в зависимости от температуры земли.

Условная температура среды, °С	Нормированная температура жил, °С	Поправочные коэффициенты на токи при расчетной температуре среды, °С											
		-5 и ниже	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
15	90	1,12	1,09	1,06	1,02	1,00	0,96	0,93	0,90	0,85	0,83	0,77	0,73
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
15	70	1,16	1,12	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,86	0,81	0,74	0,68	0,61
15	65	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
15	60	1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,55	0,47
15	55	1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36
15	50	1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	-

7 Ответы на дополнительные вопросы, поставленные заказчиком

1. Вопрос: Какова величина допустимого максимального напряжения проводов и кабелей, при прокладке в двустенных трубах?

Ответ: Максимальное напряжение кабелей – не ограничено, так как электрическая прочность обеспечивается оболочками кабеля, а труба выполняет лишь механические функции контейнера.

2. Вопрос: Возможна ли прокладка небронированных кабелей в двустенных трубах?

Ответ: Броня кабеля выполняет функции защиты от механических повреждений. При прокладке в трубе функции защиты берет на себя труба. Поэтому прокладка в трубах небронированных кабелей возможна.

3. Вопрос: Как влияют электродинамические и тепловые эффекты токов короткого замыкания на двустенные трубы?

Ответ: При штатном действии защиты короткое замыкание длится единицы секунд. Поэтому процесс теплопередачи в окружающее пространство развиваться не успевает, и все тепло, выделяющееся в жилах кабеля во время короткого замыкания, практически целиком идет на повышение температуры жил. И именно это повышение температуры может оказаться опасным для кабеля. Поэтому при проектировании этот режим проверяется. Но объем выделившейся энергии относительно невелик, поэтому, на трубу это заметного негативного влияния не окажет, особенно, учитывая хороший контакт между трубой и грунтом. Для более конкретного ответа необходимы дополнительные исследования конкретных аварийных режимов.

4. Вопрос: Можно ли использовать коэффициенты из ПУЭ, для прокладки кабеля в двустенных трубах ДКС?

Ответ: Большинство коэффициентов из ПУЭ не могут использоваться для кабелей, проложенных в двустенных трубах ДКС. Отдельные поправочные коэффициенты, например, коэффициенты учитывающие влияние температуры окружающей среды, расположения рядом нескольких труб с кабелями в земле и ряд других могут использоваться.

8 Выводы

Анализ литературных источников и нормативно-технической документации показал большое расхождение по приведенным максимальным значениям токовых нагрузок кабелей в зависимости от сечения кабелей, условий их прокладки и монтажа, так, например, данные по загрузке кабелей, приведенные в ПУЭ значительно отличаются от данных представленных в ГОСТ 16442-80. При этом, как правило, нигде не указано по какой методике, при каких допущениях и ограничениях проводились расчеты. В этих условиях выяснить обоснованность приведенных данных по загрузкам кабелей не представляется возможным.

В 2010 году введен в действие ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009 Кабели электрические. Вычисление номинальной токовой нагрузки.

Расчетно-справочных материалов полученных с применением данного стандарта для существующей номенклатуры кабельной продукции в открытой литературе пока нет. Проблема имеет определенные сложности (на протяжении последних семи лет в ПУЭ 7-го издания, так и не появился раздел по кабельным линиям электропередач).

Следует отметить отсутствие четких рекомендаций по определению максимальных токовых нагрузок для кабелей при прокладке их в гофрированных пластмассовых трубах и в частности двустенных кабельных системах ДКС.

Проведенные в СГТУ исследования с применением имитационного моделирования тепловых режимов кабелей, проложенных в трубах ДКС, показали значительную зависимость максимальной температуры жил кабеля не только от величины тока кабеля, условий прокладки, температуры окружающей среды, но и от соотношения диаметра кабеля и трубы, в которой он проложен.

В результате проведенных исследований впервые на конкретных примерах показано о влиянии соотношения диаметра кабеля и диаметра трубы, в которой он проложен, на величину длительно допустимого тока кабеля. Так для кабеля ВВГ 3х10+1х2.5 проложенного в трубе ДКС диаметром 63 мм и проложенного в трубе ДКС диаметром

200 мм допустимый ток отличается на 18 %. Не учитывать данное обстоятельство нельзя.

Исследования показали, что при нагреве жил кабеля до температуры 70 °С температура в месте контакта кабеля и трубы не превышала 60 °С для всех рассмотренных типов кабелей и труб ДКС. При этом температуры нижней и верхней точек кабеля отличались на 5-8 °С.

Средняя температура воздушной прослойки достигала значений 24 °С - 60° С.

Заключение

В соответствии с техническим заданием и условиями договора № 234 от 15.02.11 между ЗАО «ДКС» и СГТУ университетом выполнены следующие работы и решены вопросы:

Выполнена оценка температурных условий работы полиэтиленовых труб ЗАО «ДКС» при их использовании в качестве каналов для прокладки кабельных линий и рассчитаны величины длительно допустимых токов кабелей при прокладке в двустенных трубах ДКС.

Величины длительно допустимых токов кабелей рассчитаны исходя из:

- а) типа кабеля;
- б) диаметра трубы ДКС;
- в) количества кабелей в одной трубе;
- г) в зависимости от температуры земли;
- д) в зависимости от условий прокладки.

Расчеты выполнить для следующих типов кабелей

- кабели с пластиковой изоляцией с медными жилами (кабели ВВГ, ВББШв);
- кабели с пластиковой изоляцией с алюминиевыми жилами (кабели АВВГ, АВББШв);
- кабели с бумажной пропитанной изоляцией (6 кВ);
- кабели из сшитого полиэтилена (6 кВ).

Расчеты выполнены для двух условий монтажа – грунт и бетон (железобетонные изделия) с учетом способа прокладки:

- одиночная прокладка;
- групповая прокладка (до 12 труб в блоке).

При расчетах длительно допустимых токовых нагрузок кабелей, проложенных в земле, предполагалось, что теплопроводность земли и изоляции кабелей остаются постоянными. Максимальная температура жил кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена принималась равной 90 °С. В данной работе расчеты проводились с учетом этой ве-

личины. Однако следует отметить, что в научной и специальной литературе идет большая полемика о том, что максимально допустимую температуру жил кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена необходимо снизить. Для решения этого вопроса нужны длительные и всесторонние исследования желательно специалистов разного уровня. Если это произойдет, то значения допустимых токовых нагрузок придется пересмотреть. В настоящее время нет серьезных оснований для пересмотра предельной температуры жил кабеля в сторону ее уменьшения.

При выполнении работы даны ответы на все поставленные заказчиком вопросы.

Проведенные расчетные исследования будут востребованы проектными и электроснабжающими организациями, а также другими организациями и специалистами при решении вопросов применения полиэтиленовых труб ЗАО «ДКС» в качестве каналов для прокладки силовых электрических кабелей.

Литература

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). - 6-е изд. - М.: Главгосэнергонадзор, 2000.
М.: Изд-во ЗАО "Энергосервис", 1998. 610 с.
2. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ, том III /Е.Ф. Макаров. – М.: Папирус Про, 2004г.– 688 с.
3. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ, том IV /Е.Ф. Макаров. – М.: Папирус Про, 2004г.– 640 с.
4. Справочник по проектированию электрических сетей/ Под.ред. Д.Л.Файбисовича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. - 352 с.
5. Хижняков, С.В. Практические расчеты тепловой изоляции (для промышленного оборудования и трубопроводов)/С.В. Хижняков.- М.: Энергия, 1976. -198 с.
6. Пособие к СН 550-82 (Пособие по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб).
7. Белорусов, Н.И. Электрические кабели. Провода и шнуры. Справочник / Н.И. Белорусов, А.Е. Саакян, А.И. Яковлев - 5-ое издание, перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1988. - 536 с.
8. ГОСТ – 18410-73. Кабели силовые с пропитанной бумажной изоляцией. - Введ. 01.01.1975. - М. : Минэлектротехпром СССР, 1973. - 51 с.
9. ГОСТ 16442 – 80. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией. - Введ. 01.01.1982. - М. : Минэлектротехпром СССР, 1980. - 32 с.
10. ГОСТ Р 53769 – 2010. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0.66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия. - Введ. 01.01.2011. - М. : Стандартиформ, 2010. - 40 с.
11. РД 34.20.508 – Инструкция по эксплуатации силовых кабельных линий. Часть 1. Кабельные линии напряжением до 35 кВ. - М.: СОЮЗТЕХЭНЕРГО, 1980

12. Алиев, И.И. Кабельные изделия. Справочник / И.И. Алиев. - 2-е изд. - М.: РадиоСофт, 2004. - 224 с.



Заключение об использовании двустенных полиэтиленовых труб ДКС для прокладки силового кабеля

ЗАО "Диэлектрические Кабельные Системы"

Россия, 125167, Москва, 4-я ул. 8 Марта, д.6а, стр.1
тел.: (495) 916-52-62, факс: (495) 916-52-08
www.dkc.ru

Региональные представительства:

Екатеринбург: (343) 356-56-09, Казань: (843) 291-75-91,
Краснодар: (861) 267-75-67, Нижний Новгород: (831) 421-67-42,
Новосибирск: (383) 300-10-00, Пермь: (342) 259-40-35, Ростов-на-Дону: (863) 203-72-59,
Самара: (846) 273-36-14, С-Петербург: (812) 611-10-67, Уфа: (347) 292-43-54,
Хабаровск: (4212) 45-27-07, Челябинск: (351) 245-33-09, Алматы: (7272) 44-51-47