

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н. Ячикова Игоря Михайловича на диссертационную работу **Дятлова Ильи Яковлевича** «*Математическое и алгоритмическое обеспечение системы поддержки принятия решений оператора линии непрерывной вулканизации кабельной продукции*», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Актуальность темы.

Вулканизация кабельных изделий чаще всего производится в вулканизационных котлах или в агрегатах непрерывной вулканизации. В первом случае провода или кабели намотаны на барабаны или уложены в специальные тарелки с тальком, во втором — изделие проходит через длинную вулканизационную трубу.

В настоящее время оператор линии непрерывной вулканизации выбирает скорость перемещения заготовки для известных марок материалов и размеров, исходя из заданных технологических карт или на основе практического опыта. Однако, для новых изделий или материалов, выбор подходящей скорости не всегда очевиден. Задача выбора является непростой, требующей от технолога значительных затрат времени для расчетов или экспериментов для учета физико-химических процессов вулканизации и теплофизических свойств резины. При этом на технологический процесс вулканизации также влияют неуправляемые и случайные внешние факторы (перепад давления, неоднородность температуры, нестабильные свойства резины) компенсировать которые в ходе процесса должен оператор линии.

Недостаточная степень завершенности вулканизации приводит к несоответствию диэлектрических и механических характеристик изоляции кабеля и как следствие к браку и убыткам предприятия. В связи с этим, решением задачи связанной с повышением стабильности технологии вулканизации приводящей к повышению качества и снижению брака кабельной продукции **является актуальным.**

В работе предлагается в системе управления линии непрерывной вулканизации кабельной продукции использовать систему поддержки и принятия решений (СППР).

Соответствие диссертационной работы указанной специальности.

Перечень поставленных в работе задач и полученных результатов соответствует паспорту научной специальности 2.3.1 «*Системный анализ, управление и обработка информации, статистика*», по пунктам:

5 – «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»;

10 – «Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах»;

12 – «Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации»;

15 – «Теоретический анализ и экспериментальное исследование функционирования элементов систем управления в нормальных и специальных условиях с целью улучшения технико-экономических и эксплуатационных характеристик».

Анализ содержания диссертации

Диссертационная работа И.Я. Дятлова состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и 3 приложений. Работа изложена на 125 страницах машинописного текста, включающего в себя 51 рисунок, 9 таблиц, список литературы из 96 наименований на 12 страницах.

В первой главе (стр. 13–39) приводится анализ состояния проблемы. Описываются основные виды промышленных СППР, рассмотрен вопрос об их применении в кабельной промышленности. Приведены основные типы резины, применяющейся в кабельной промышленности, основные способы и агрегаты вулканизации. Представлены методы экспериментального исследования процесса вулканизации. Проведен анализ трудов отечественных и зарубежных ученых, посвященных математическому моделированию процессов тепломассопереноса и кинетики вулканизации, экспериментальным исследованиям процесса вулканизации, подходам к выбору оптимального режима в условиях изменения внешней среды.

Во второй главе (стр. 39–48) предложена структурная модель СППР для управления линией непрерывной вулканизации изоляции кабеля. СППР базируется на математической модели процесса непрерывной вулканизации изоляции кабеля, базы данных и алгоритма коррекции скоростного режима вытяжки кабеля.

В третьей главе (стр. 49–58) представлено математическое обеспечение СППР технолога и оператора линии непрерывной вулканизации. Предложена математическая модель процессов тепломассопереноса и вулканизации кабельной изоляции внутри трубы непрерывной линии вулканизации в осесимметричной постановке. Проведено сравнение предложенных математических моделей. Оценена сходимость численного решения. Проведена оценка адекватности представленных математических моделей.

В четвертой главе (стр. 59–72) рассмотрено экспериментальное исследование вулканизационных свойств резиновых смесей. Приведены результаты экспериментов по определению зависимости степени вулканизации от времени при различных значениях температуры. Исследование вулканизационных свойств резиновых смесей проводилось на гибридном реометре ротационного типа Discovery HR-2.

В пятой главе (стр. 73–90) рассмотрена обработка результатов моделирования и апробация разработанной СППР в условиях реального производства. Анализ влияния на степень завершенности вулканизации позволил выявить, значимые величины такие как, теплопроводность и

вулканизационные характеристики материала изоляции, диаметр ТПЖ, толщина изоляции, давление (температура) вулканизационной среды.

В заключении сформулированы общие выводы по результатам исследования, даны рекомендации по их использованию. Содержание глав полностью соответствует выносимым на защиту положениям.

Научная новизна диссертационной работы:

1. Разработана новая концептуальная модель системы поддержки принятия решений оператора линии вулканизации резиновой изоляции кабельно-проводниковой продукции, отличающаяся от известных наличием двух блоков математического моделирования объекта управления.

2. Разработан алгоритм выбора рациональной скорости движения процесса вулканизации изоляции кабеля на основе созданной математической модели процессов теплопереноса и вулканизации изоляции внутри вулканизационной трубы.

3. Предложена оригинальная методика испытаний резиновой смеси и изоляции готового кабеля, отличающаяся применением гибридного ротационного реометра позволяющая исследовать вулканизационные свойства резиновой смеси при разных температурах и времени выдержки.

4. Предложена методика расчета параметров нелинейного регрессионного выражения на основе экспериментальной кривой степени сшивки.

5. Разработана новая система поддержки принятия решений оператора на основе математической модели, позволяющей анализировать распределение температуры внутри изоляционного слоя кабеля и оценивать степень сшивки слоя изоляции для новых и существующих материалов, а также при изменении технологических параметров вулканизации.

Считаю, что описанные выше научные результаты соискателя являются новыми и оригинальными.

Практическая и теоретическая значимость результатов работы.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке оригинальной модели СППР оператора линии непрерывной вулканизации кабельно-проводниковой продукции и реализации математической модели, на основе которой предложены алгоритмы выбора и коррекции скорости линии. Представленные алгоритмы позволяют определить величины скорости для различных: конструкций кабеля, материалов изоляции, нестандартных режимов работы производственной линии.

Предложенная математическая модель, в отличие от уже существующих описывает процессы теплопереноса в среде насыщенного пара и вулканизации внутри вулканизационной трубы. Кинетическая модель учитывает зависимость вулканизационных характеристик от температуры и времени выдержки.

Результаты диссертации использованы при выполнении НИР в рамках гранта РФФИ № 20-31-90045.

Предложенная СППР в отличие от существующих позволяет производить выбор скорости линии в условиях изменяющихся внешних и внутренних воздействий.

Получена справка об использовании диссертационной работы компанией ООО «Камский Кабель». Даны практические рекомендации по улучшению качества продукции с использованием СППР оператором линии непрерывной вулканизации кабельной продукции.

Достоверность научных результатов и обоснованность выводов

Достоверность научных результатов и обоснованность полученных выводов подтверждается большим объемом наблюдений, соответствием использованием современных статистических методов обработки экспериментальных данных, согласованностью представленных расчетных и экспериментальных результатов с известными данными теоретических и экспериментальных исследований.

Апробация результатов диссертационного исследования обсуждались на Всероссийской научно-технической конференции: «Автоматизированные системы управления и информационные технологии» (Пермь, 2018 г.); «Автоматизированные системы управления и информационные технологии» (Пермь, 2019 г., 2020 г., 2021 г.); XXI Зимней школе по механике сплошных сред (Пермь, 2019 г.); Актуальные проблемы прикладной математики и механики (Абрау-Дюрсо, 2020 г.).

К общим достоинствам диссертационной работы следует отнести следующие моменты.

В исследовании использовались современные технологические подходы и методы, которые позволили автору получить важные научные результаты, имеющие прикладное значение для повышения качества кабельно-проводниковой продукции.

В своих выводах диссертант приводит объяснения процессов, протекающих в ходе непрерывной вулканизации кабельной изоляции. Эти объяснения вносят существенный вклад в понимание процессов, происходящих во время непрерывной вулканизации изоляции кабельной продукции, и имеют практическую ценность для специалистов, работающих в области кабельного производства.

Работа направлена, прежде всего, на практический результат – на повышение стабильности степени завершенности вулканизации кабельной продукции за счет предоставления оператору необходимых рекомендаций системы поддержки принятия решений (СППР), разработанной на основе системного анализа и моделирования процесса вулканизации с учетом процессов тепломассопереноса и кинетики, а также статистической обработки экспериментальных данных.

Изучение диссертационной работы и анализ полученных результатов позволяют вынести для обсуждения в диссертационном совете **следующие вопросы.**

1. В работе не дано четких определений ряда понятий: *степень сшивки, степень завершенности процесса вулканизации, степень вулканизации, максимальная амплитуда* (стр. 68).
2. Осталось непонятным как коэффициент теплоотдачи от пара к изделию зависит от давления и температуры пара, скорости движения обрабатываемого материала и какой режим течения пара при рассматриваемых скоростях и обрабатываемых кабелях (ламинарный или турбулентный)? Используемая математическая модель (2) (стр. 51) рассматривает только ламинарные течения.
3. Как связаны величины V_0 и V_z (стр. 51–52)?
4. В табл. (5.1) для расчетов приведены теплофизические свойства материалов, непонятно при какой они даны температуре. Значение плотности пароводяной среды 1000 кг/м^3 вызывает сомнение. Известно, что при избыточном давлении 11 атм, $T_{\text{нас}}=188^\circ\text{C}$ (близко к данным табл. 5.3), плотность пара равна $6,13 \text{ кг/м}^3$.
5. В какой форме происходит формирование базы данных СППР, как она хранится и применяется?

Есть общие замечания.

1. На стр. 44 указывается, что вектор управляющих воздействий может быть сформирован из производительности экструдера Q и скорости подачи кабеля V . Однако эти величины функционально связаны между собой. Из технологии производства понятно, что кабель должен иметь равномерное изоляционное покрытие. Сам диссертант выше на две строки пишет «*Регулирование скорости движения связано с изменением производительности экструдера (Q), что обеспечивает получение изоляции заданной толщины*». Рисунки 2.3 и 2.4 связаны только с расчетом и коррекцией скорости линии.
2. В алгоритме, представленном на рис. 2.3 присутствует расчет расхода экструдера Q и величины завершенности процесса вулканизации φ , при этом в работе не описано как осуществлялся их расчет и как зависит $Q(\varphi)$. Видимо нет необходимости задавать начальное значение φ , если мы его рассчитываем во 2 блоке.
3. Уравнения энергии и вязкостного течения жидкости (2) (стр. 51) давно известны, новизна математической модели обычно заключается в формулировке принятых упрощений и ограничений, а также в постановке специфических граничных условий в *математическом виде*. В диссертации и автореферате их нет.
4. Судя по последнему уравнению (2) (стр. 51) степень вулканизации $\varphi(T, t)$ это локальная характеристика для каждой области обрабатываемого материала, остается непонятным, как она связана с алгоритмом, показанным на рис. 2.3. Где в модели (2) учитывается скорость движения материала.

5. На рис. 3.7–3.11 не приведены все условия моделирования и эксперимента: температуры, скорости и давления греющих сред, теплофизические свойства всех сред, коэффициенты теплоотдачи, геометрические параметры и пр. Отсюда возникает проблема сравнения с известными расчетными и экспериментальными данными.
6. Известно, что прочность изделия при разрыве от времени вулканизации для резин при заданной температуре сначала растет, потом остается практически постоянной, а далее начинает падать. В работе не было уделено внимания этому вопросу.
7. На стр. 65 приведены 4 регрессионных выражения, полученные на основе реометрических испытаний. В математической модели (2) (стр. 52) не указано, на каком основании был произведен выбор кинетического выражения (3), в том числе и, исходя из рисунка 4.8.
8. Получены зависимости степени завершенности процесса от времени при разных температурах выдержки (рис. 4.4). Однако процесс сшивания (вулканизации) является нестационарным. Этот факт в расчетах не учитывается.

Необходимо сделать **несколько мелких замечаний** относительно выполнения всей работы.

1. Использование некоторых терминов не совсем корректно: лучистая энергия (стр. 37), скорость изолирования (стр. 39), дифференциальная математическая модель (стр. 41). Некоторые из них нужно было просто взять в кавычки.
2. Широко используется термин кинетические параметры, из контекста диссертации часто непонятно, какие процессы имеются в виду: тепловые, массообменные процессы, химические и пр.
3. В тексте диссертации в нескольких местах встречаются ссылки на свои работы, например: *Результаты опубликованы в статье «Исследование процесса вулканизации резиновой смеси при помощи ротационного реометра / И. Я. Дятлов, Н. М. Труфанова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 7. – С. 91–94»*. Полная ссылка даже на статью автора должна быть в общем списке литературы.
4. В тексте диссертации работы присутствуют опечатки, грамматические, стилистические ошибки и пунктуации. Неверны ссылки на рисунки, литературу, разная нумерация формул.

Все рассмотренные замечания лишь в небольшой степени снижают общие положительные оценки диссертации И.Я. Дятлова. Вне всякого сомнения, он проявил высокую эрудицию и грамотность. Надо отметить его высокую квалификацию при проведении экспериментальных исследований и их обработке, а также проведение теоретических расчетов.

Содержание диссертационной работы И.Я. Дятлова достаточно полно освещено в 9 научных публикациях, в том числе в 8 –публикациях в журналах, включенных в перечень ВАК, апробировано на научных конференциях различного уровня. В автореферате достаточно полно отражается содержание всей диссертации.

Диссертация представляется **завершенной научно-квалификационной работой**, в которой присутствуют все необходимые элементы – это изучение проблемы, постановка задач исследования, их решение, анализ и практическая проверка полученных результатов.

Заключение.

В целом представленная диссертационная работа и автореферат в полной мере соответствуют требованиям п. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакциях от 21.04.2016 № 335 и 12.10.18 № 1168), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Дятлов Илья Яковлевич **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Официальный оппонент:

профессор кафедры информационно-измерительной техники,
доктор технических наук, профессор,
научная специальность: 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Адрес: 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76
Телефоны: +7-906-8992407, +7 (351) 267-99-00
E-mail: iachikovim@susu.ru

«09» февраля 2024 г.

Ячиков Игорь Михайлович



НО
альник службы
производства
Циулина