

В диссертационный совет 24.2.300.02 на
базе федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Ивановский государственный
политехнический университет

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Рудовского Павла Николаевича на диссертационную работу Буланова Дмитрия Андреевича на тему: «Проектирование рациональных структур плосковорачиваемых гибких рукавов в зависимости от величины внутреннего гидростатического давления», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.16 Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности

Актуальность работы

Актуальность работы заключается в повышении конкурентоспособности отечественных плосковорачиваемых гибких рукавов путем достижения их наименьшей материалоемкости и себестоимости. Плосковорачиваемые гибкие рукава в настоящее время активно используются, а иногда становятся незаменимыми при перекачке жидких сред в нефтеперерабатывающей, сельскохозяйственной и других отраслях промышленности. Основными потребительскими свойствами рукавов являются: способность выдерживать заданные внутренние гидростатические давления, а также надежность и долговечность. Эти параметры в значительной степени определяются структурой плосковорачиваемого гибкого рукава. На сегодняшний день зарубежные аналоги нередко превосходят отечественные рукава по ряду ключевых параметров, что показывает необходимость совершенствования методик их расчета. Разработанная в исследовании методика расчета и проектирования рациональной структуры плосковорачиваемых гибких рукавов, учитывающая контактные взаимодействия в нитях армирующей оболочки, влияние связующего и другие параметры, позволяет уже на этапе проектирования получить рациональную структуру рукава, тем самым повышая его конкурентоспособность и обеспечивая импортозамещение на рынке трубопроводов, что является актуальной задачей.

Научная новизна и достоверность результатов

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке методики расчета и рационального проектирования структуры плосковорачиваемых гибких рукавов, позволяющей учесть влияние

модуля упругости связующего, увеличение геометрической плотности ткани армирующей оболочки по нитям основы и утка, радиуса рукава при действии внутреннего гидростатического давления на этапе проектирования, что позволит снизить материалоемкость при сохранении прочностных характеристик рукава.

Научной новизной обладают:

- расчётная схема и обобщенная система уравнений, описывающая взаимодействие нитей в армирующей оболочке плосковорачиваемых гибких рукавов;

- зависимость, позволяющая связать внутреннее давление в рукаве с нелинейным изгибом нитей и силами растяжения в них и полиуретане, геометрической плотностью ткани армирующей оболочки по нитям основы и утка, толщиной стенки и радиусом рукава;

- зависимости для определения разрывных давлений, обусловленных разрывом как уточных, так и основных нитей;

- методика расчета и проектирования рациональных структур плосковорачиваемых гибких рукавов при действии внутреннего давления.

Теоретическая значимость

Теоретическая значимость проведённого исследования состоит в совершенствовании теоретических основ расчёта и проектирования структур плосковорачиваемых гибких рукавов, испытывающих действие высоких внутренних давлений. Полученные в ходе работы результаты вносят вклад в развитие теории взаимодействия нитей в армирующих тканых оболочках за счёт систематизации факторов, определяющих напряжённо-деформированное состояние конструктивных элементов рукава. В частности, разработана система учёта комплекса параметров, в том числе характеристик связующего - полиуретана, геометрической плотности ткани, а также текущего радиуса рукава и толщины его стенки.

На базе установленных закономерностей получены зависимости, описывающие взаимосвязь между величиной внутреннего гидростатического давления, возникающими силами растяжения в нитях армирующей структуры и полиуретане, а также совокупностью конструктивных параметров изделия. Это позволяет расширить теоретические представления о механике взаимодействия нитей и создать научно обоснованную базу для разработки усовершенствованной методики расчёта и проектирования плосковорачиваемых рукавов, ориентированной на снижение материалоемкости или повышение их эксплуатационной надёжности и ресурсных характеристик.

Достоверность и обоснованность научных положений, результатов, выводов и рекомендаций, приведенных в диссертационной работе, достигнута в результате согласованности результатов расчетных и экспериментальных данных по разрывным давлениям в образцах плосковорачиваемых гибких рукавов. Полученные теоретические положения и методика **не вызывают сомнений в достоверности**, что

подтверждается использованием современных средств при проведении экспериментальных исследований.

Практическая значимость и реализация результатов работы

Практическая значимость и возможные варианты реализации результатов работы обусловлены внедрением программы для ЭВМ, реализующей разработанную методику расчёта и проектирования рациональных структур плосковорачиваемых гибких рукавов. Данное программное решение обеспечивает возможность прогнозирования разрывных давлений и определения рациональных структур плосковорачиваемых гибких рукавов.

Применение предложенного методического подхода в совокупности с программой для ЭВМ позволяет рационализировать конструктивные решения, что приводит к снижению материалоёмкости и уменьшению себестоимости рукавов. Реализация указанных мер способствует повышению технико-экономической эффективности производственного цикла и обеспечивает конкурентоспособность выпускаемых изделий в сегменте полимерных трубопроводных систем.

Публикации

Результаты исследования опубликованы в 12 печатных работах, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, 6 статей в научных журналах и сборниках научных трудов, одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, а также 3 тезиса докладов.

Общая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов по каждой главе, общих выводов по работе, библиографического списка использованной литературы и трех приложений. Работа выполнена на 151 странице машинописного текста, включает 29 рисунков, 3 таблицы. Список использованных литературных источников включает 203 наименования. Приложения представлены на трех страницах. Структура и объем диссертации соответствуют нормативным требованиям.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, указана степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи, положения научной новизны, теоретической и практической значимости результатов, представлены сведения об апробации полученных результатов.

В первой главе в соответствии с целью и задачами диссертационной работы рассмотрена научно-техническая информация в области механики нити, теории строения ткани, а также прочностному расчету рукавов при действии внутреннего давления. Всесторонний анализ этой информации позволил более четко определить основные направления для совершенствования методики расчета и проектирования структуры плосковорачиваемых гибких рукавов.

Во второй главе исследования разработана расчетная схема описывающая равновесие отрезков нитей тканой армирующей оболочки рукава при совместном действии внешних и внутренних силовых факторов. Рассматриваемые отрезки нитей, будучи взаимно переплетёнными и находящимися в силовом взаимодействии, формируют типовой периодически повторяющийся структурный элемент ткани армирующей оболочки.

В рамках развития изложенных теоретических положений получены зависимости для расчёта двух разновидностей разрывных давлений. Выполнение условий прочности, сформулированных отдельно для уточных и основных нитей армирующей оболочки, позволяет предотвратить разрушение рукавов от действия внутреннего давления. Полученные расчётные зависимости для определения разрывных внутренних давлений, составляют методологическую основу разработанной методики расчёта и проектирования рациональных структур плосковорачиваемых гибких рукавов.

Разрывные давления, выступающие в качестве ключевых показателей несущей способности рукавов к сопротивлению разрушающему воздействию внутреннего гидростатического давления, представляют собой значимые параметры запаса прочности. Их нормативные значения регламентируются действующими стандартами и техническими условиями, выступающими в качестве базовых документов при проектировании данных изделий.

В третьей главе экспериментально определен модуль упругости полиуретана, который необходим для расчета разрывных давлений по полученным зависимостям. Также подтверждены усилия разрыва нитей основы и утка, предоставленные производителями плосковорачиваемых рукавов посредством сравнения заданных значений с экспериментальными усилиями, полученными на разрывной машине РМИ-250.

Так как при изготовлении плосковорачиваемых гибких рукавов могут быть использованы марки полиуретана с существенно отличающимися значениями модуля упругости, то автором было исследовано его влияние на разрывное давление, обусловленное разрушением уточных нитей. Расчетные зависимости показали, что влияние полиуретана тем существеннее, чем ниже разрывные усилия в уточных нитях армирующей оболочки. Это объясняется тем, что в этом случае связующее воспринимает большую нагрузку. При этом разрывные давления возрастают.

Также автором исследования рассмотрен вопрос зависимости разрывного давления в рукаве от температуры связующего. Получена закономерность показывающая, что при более высокой температуре связующего падает разрывное давление, так как большую нагрузку начинают воспринимать нити армирующего каркаса. Соискателем сделано заключение, с которым можно согласиться, что наиболее неблагоприятным случаем при расчете и проектировании рациональных структур

плоскосворачиваемых рукавов будет предельно максимальная температура перекачиваемого продукта и окружающей среды.

Полученные автором расчетные значения коэффициента несоответствия Тэйла для плоскосворачиваемых гибких рукавов 0,04 и пожарных напорных рукавов 0,07 позволили подтвердить высокий уровень соответствия расчетных и экспериментальных данных по разрывным давлениям, что не вызывает сомнений.

В четвертой главе на основе усовершенствованных теоретических положений и полученных зависимостей для разрывных давлений в плоскосворачиваемых гибких рукавах, анализа стандартов и документации по методам испытаний рукавов разработана методика прочностного расчета и проектирования рациональных структур ПГР, соответствующая нормативам ГОСТ Р 58714-2019. Благодаря полученной методике удалось достичь снижения материалоёмкости рукава на 17% с обеспечением условий его прочности.

В трех приложениях к диссертации содержится информация об исходных данных для расчета и проектирования плоскосворачиваемых гибких рукавов, объектах интеллектуальной собственности, а именно свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ, а также акт об апробации результатов диссертационной работы на АО «ИВХИМПРОМ», подтверждающий актуальность разработанной методики.

Диссертационная работа Буланова Д.А. свидетельствует о квалификации автора как самостоятельного исследователя, способного ставить цель, формулировать задачи, проводить экспериментальные исследования. Проведено значительное по объему теоретическое и экспериментальное исследование, описанное в диссертации с информативным представлением в виде рисунков, схем, графиков и таблиц. Буланов Д.А. обоснованно выстраивает теоретические выкладки, позволяющие в конечном итоге получить искомые зависимости по разрывным давлениям в плоскосворачиваемых гибких рукавах. После каждой главы автор приводит логичные и убедительные выводы, подкрепляемые теоретическими и практическими результатами.

Диссертация написана грамотным языком, имеет правильную структуру, обладает логичностью и единством изложения, основные положения работы представлены в автореферате и диссертации и публикациях автора.

В диссертации соискатель ученой степени корректно ссылается на литературные источники других авторов при использовании их материалов.

По содержанию диссертации можно отметить несколько практических замечаний и вопросов.

Вопросы и замечания по диссертационной работе

1. Почему в работе рассматривались расчетные схемы только для полотняного переплетения и переплетения саржа 1/2? Чем обусловлен такой выбор?

2. Почему при учете влияния связующего не был рассмотрен вопрос адгезии полиуретана с армирующей тканой оболочкой? Каково ее влияние?

3. Как определить коэффициент $\mu_{ув}$ для уточной нити, если он «обнуляется» при сложении уравнений для связующего и армирующей оболочки?

4. На стр. 102 автор отмечает, что «свойство плоскостворачиваемости ПГР может быть обеспечено при использовании полиуретана не выше группы 010 с модулем упругости до 110 МПа (таблица 3.1)». Однако соискателем такое заключение ничем не подтверждено.

5. На стр. 105 соискателем отмечается, «что модуль упругости при повышении температуры уменьшаться, а, следовательно, влияние полиуретана на прочность ПГР будет снижаться». Соискателю следовало бы оценить влияние температуры не только на связующее (полиуретан), но и на полиэфирные нити, от которых в наибольшей степени зависит прочность ПГР.

6. При разработке методики проектировании рациональных структур ПГР соискателю следовало бы не ограничиваться исследованием влияния на величину разрывного давления модуля упругости полиуретана, но и исследовать влияние других значимых факторов, таких как геометрическая плотность нитей ткани каркаса по основе и утку, номинальный радиус рукава, модули упругости нитей при растяжении, усилие разрыва уточных нитей, толщина стенки рукава, что можно бы было использовать для создания более совершенных структур рукавов.

7. Соискателю следовало бы выполнить проверку соответствия расчетных и экспериментальных значений разрывных гидростатических давлений, обусловленных разрывом не только уточных, но и основных нитей, даже, если в последнем случае «единственным возможным случаем проверки будут являться испытания заведомо некорректно спроектированного рукава» (стр.111).

Поставленные вопросы и сделанные замечания **не изменяют общего положительного мнения о рассмотренной диссертационной работе**, результаты которой имеют существенное значение для развития методик расчета и проектирования рациональных структур плоскостворачиваемых гибких рукавов.

Автореферат и публикации с достаточной полнотой отражают содержание диссертационной работы.

Заключение по диссертационной работе

Диссертация Буланова Д.А. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые технические и технологические решения по усовершенствованию методики расчета и

проектирования рациональной структуры плосковорачиваемых гибких рукавов внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны благодаря снижению их материалоемкости и себестоимости.

Таким образом, диссертационная работа Буланова Дмитрия Андреевича «Проектирование рациональных структур плосковорачиваемых гибких рукавов в зависимости от величины внутреннего гидростатического давления», соответствует критериям, представленным в п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.16 Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности.

**Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор**

П. Н. Рудовский

Фамилия, И.О.: Рудовский Павел Николаевич

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: профессор

Специальность: 05.19.02 – Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья

Организация: ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»

Адрес организации: 156005, город Кострома, ул. Дзержинского, д. 17/11

Телефон: +7 (4942) 66 49 00

E-mail: info@kosgos.ru

