

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВАРИАНТОВ ВЗАИМНОГО ПОЛОЖЕНИЯ КОНТУРОВ СЕЧЕНИЙ ВИТКОВ В МАСШТАБЕ ТЕЛА ПАКОВКИ

*Робота виконана у рамках розвитку комп'ютерної моделі структури пакування хрестового намотування на рівні нитки. Викладені результати дослідження закономірності розподілу варіантів взаємного положення контурів перетинів витків в радіально-осьовому перетині тіла пакування. Встановлена ідентичність закономірності розподілу в масштабі усього тіла пакування.*

*Work is executed within the limits of development of computer model of package structure of the cross winding at thread level. Results of research of regularity of distribution of variants of mutual position of contours of sections of coils in radially-axial section of the package body are stated. Identity of regularity of distribution on the scale of all package body is established.*

Ключові слова: взаємне положення контурів перетинів витків, канал, контактна площадка, текстильне пакування.

### Постановка проблеми

Работа выполнена в рамках общего направления дальнейшего совершенствования компьютерной модели структуры паковки. Содержание этого направления заключается в моделировании взаимодействия потока жидкости со структурой паковки на уровне нити. Практический результат направления – развитие технологии крашения каждой паковки в отдельном технологическом цикле.

Предыдущий этап исследований был посвящён переходу от модели структуры паковки в виде матрицы распределения следов центров сечений витков в радиально-осевой плоскости сечения тела паковки (макроуровень) к поканальному отображению в этой же плоскости контуров сечений витков с учётом их направления и степени деформации межслойным давлением (микроуровень).

Пересекая радиально-осевую плоскость сечения тела паковки, витки оставляют в ней следы в виде контуров своих сечений, которые имеют различное взаимное положение в каждом слое – от одиночных до пересекающихся между собой в различных комбинациях. В связи с этим возникает проблема исследования закономерности распределения вариантов взаимного положения контуров сечений витков в теле паковки. Ожидаемый результат такого исследования – оценка возможности переноса локальных результатов, полученных для произвольно выбранной плоскости сечения, на всё тело паковки. Иными словами, требуется установить, идентичны ли закономерности распределения вариантов взаимного положения контуров сечений витков в масштабе тела паковки.

### Анализ последних публикаций

Исходными для настоящего этапа исследования являются результаты предыдущих этапов, опубликованные ранее в ряде работ. Задача построения картины распределения следов витков в радиально-осевом сечении тела паковки в целом решена в работах [1–4]. Предложенные в работах алгоритмы позволяют воспроизвести процесс формирования структуры на стадиях наматывания и жидкостной обработки вращающейся паковки. Описание алгоритма раздельного отображения контуров сечений витков с учётом их направления и степени деформации в модели формирования структуры паковки представлено в работе, которая в настоящее время находится в стадии опубликования. В сжатом виде результаты изложены в работе [5]. Других сведений по данному направлению исследований в доступных авторам источниках не обнаружено.

### Цель работы

Цель работы заключается в определении и визуализации закономерностей распределения вариантов взаимного положения контуров сечений витков в масштабе тела паковки.

### Основная часть

Сформируем перечень задач, которые необходимо решить для достижения поставленной цели. Прежде всего требует решения задача классификации возможных вариантов взаимного положения контуров сечений витков, что позволяет обобщить результаты моделирования и выделить из них наиболее характерные варианты. Далее решим задачу построения графиков частоты распределения вариантов взаимного положения контуров сечения витков в различных плоскостях радиально-осевого сечения тела паковки. В заключение установим, насколько близки полученные закономерности распределения.

Прежде, чем перейти к решению поставленных задач, покажем процесс образования контуров сечений витков в плоскостях радиально-осевых сечений тела паковки, а также уточним некоторые термины. Для этого выберем три близко расположенные друг к другу плоскости радиально-осевых сечений, проходящие через ось цилиндрического тела паковки, и выделим прямоугольный фрагмент периферийного слоя, пересекаемого этими плоскостями, как это показано в левой нижней части рис. 1. В правой верхней части рис. 1 показан этот же фрагмент в увеличенном виде.

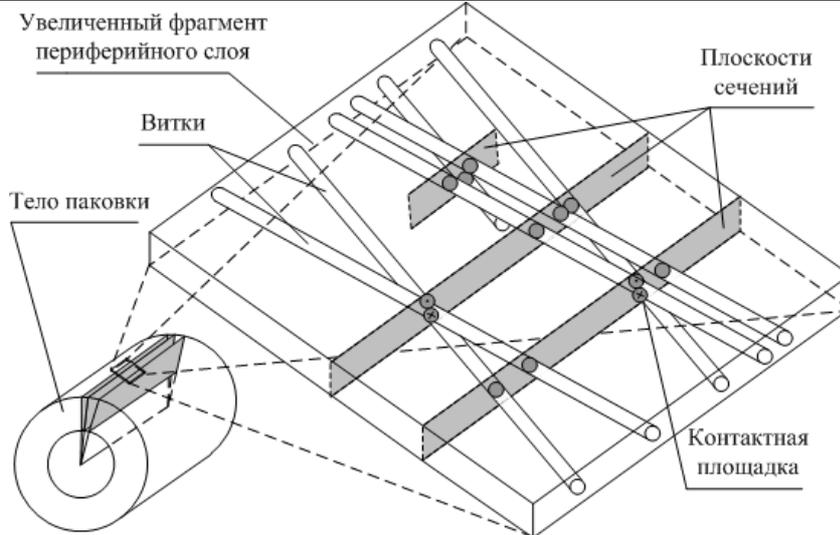


Рис. 1. Схематическое изображение процесса образования контуров сечения витков и вариантов их взаимного положения в плоскостях сечения тела паковки

Из рис. 1 видно, что витки крестовой намотки прямого и обратного направлений попеременно пересекают плоскости, образуя в них контуры сечений витков. Например, в крайней левой плоскости витки образуют три контура сечений, соприкасающихся между собой, два из которых – одного направления, а третий – другого. В средней плоскости, помимо этого, разнонаправленные витки, пересекаясь точно в плоскости сечения, образуют контактную площадку. Контактная площадка является наиболее интересным для изучения объектом структуры паковки. В крайней правой плоскости эти же витки образуют два отдельных контура, еще одну контактную площадку, и одиночный контур сечения. Из этого видно, что в каждом слое контуры сечений витков характеризуются взаимным положением. При переходе от слоя к слою взаимное положение контуров сечений витков изменяется. Соотношение количества повторений вариантов в пределах всех слоёв рассматриваемого канала назовём распределением вариантов взаимного положения контуров сечений витков.

Исследуя подобным образом послойную структуру тела паковки, заметим, что расстояние между центрами сечений пар разнонаправленных витков в плоскости сечения зависит от степени удаления контактной площадки от рассматриваемой плоскости. Это обусловлено крестовым способом намотки витков. Ниже вернёмся к этому обстоятельству и рассмотрим его более детально.

Для решения поставленных выше задач рассмотрим три группы плоскостей радиально-осевого сечения, равномерно отстоящих друг от друга по окружности паковки. Пусть в каждой группе сечений плоскости отстоят друг от друга на 120 градусов. Примем за начало отсчета для первой группы 0 градусов, начало второй группы сместим относительно начала первой на 40 градусов, а начало третьей – на 80 градусов. Тогда в первую группу войдут плоскости, занимающие положение 0, 120 и 240 градусов, вторую – 40, 160 и 280 градусов, третью – 80, 200 и 320 градусов. В результате получим набор из девяти плоскостей с интервалом 40 градусов по окружности.

Далее в каждой из плоскостей зададим положение трех радиальных каналов шириной  $10^{-3}$  м так, чтобы левая граница первого канала проходила через середину плоскости. Посредством разработанного ранее программного обеспечения [5] в ходе компьютерного моделирования для каждого канала получим картину послойного распределения контуров сечений витков с учетом их направления и деформации. Затем в каждом из рассматриваемых каналов выполним послойный анализ вариантов взаимного положения контуров сечений витков. Общее количество слоёв составляет величину, которая определяется произведением девяти плоскостей, трёх каналов и ста двадцати слоёв в каждом канале, то есть числом 3240. Результаты анализа в виде пятнадцати наиболее характерных вариантов взаимного положения контуров сечений витков представлены в табл. 1.

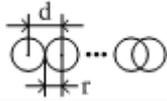
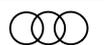
Из табл. 1 видно, что простейшим рассматриваемым случаем является одиночный контур сечения витка. Затем следуют варианты пересечения контуров витков в порядке возрастания степени глубины пересечения и количества одновременно пересекающихся контуров. Наиболее интересным вариантом с позиции изучения проникания в нее раствора является контактная площадка пересечения разнонаправленных витков, в которой они деформируются под действием сил межслойного давления. В остальных вариантах направление витков не учитывается. Это обусловлено тем, что учёт направления на порядок увеличил бы объём классификационной таблицы и затруднил бы тем самым её использование. В то же время в отношении самого важного своего свойства – проницаемости для обрабатываемого раствора, – каждый из этих вариантов равнозначен независимо от направления витков.

Завершив решение задачи классификации взаимного положения контуров сечений витков, перейдём к решению следующей задачи – задачи построения графиков частоты распределения вариантов взаимного положения контуров сечения витков. Относительную частоту распределения вариантов взаимного

положения контуров сечения витков определим как отношение подсчитанного по слоям канала количества повторений каждого варианта к количеству повторений того варианта, у которого оно максимально.

Таблица 1

## Наиболее характерные варианты взаимного положения контуров сечений витков

№	Варианты взаимного положения	Наименование	№	Варианты взаимного положения	Наименование
1		одиначный контур	9		комбинация из семи контуров
2		двойной контур $2r \geq d > r$	10		комбинация из восьми контуров
3		двойной контур $r \geq d > 0$	11		комбинация из девяти контуров
4		тройной контур	12		комбинация из десяти контуров
5		контактная площадка	13		комбинация из одиннадцати контуров
6		комбинация из четырех контуров	14		комбинация из двенадцати контуров
7		комбинация из пяти контуров	15		жгут из большого количества контуров витков
8		комбинация из шести контуров			

Все варианты взаимного положения контуров сечения нитей в табл. 1 можно разделить на две группы по принципу одновременно рассматриваемых контуров  $n \leq 3$  и  $n > 3$ , как это показано на рис. 2:

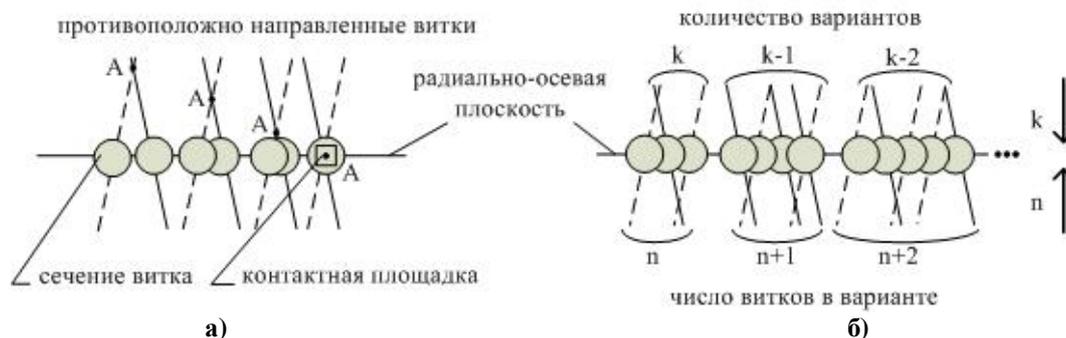


Рис. 2. Схематическое изображение принципа разделения вариантов взаимного положения контуров сечений витков на две группы: а)  $n \leq 3$ ; б)  $n > 3$

На рис. 2 представлен вид радиально-осевой плоскости сечения тела паковки с ребра и контуры сечений витков, расположенные в этой плоскости, но условно повернутые на 90 градусов относительно неё. Поэтому плоскость радиально-осевого сечения расположена по нормали к плоскости листа, а контуры сечений витков лежат в плоскости листа.

На рис. 2, а показаны перекрещивающиеся между собой четыре пары разнонаправленных витков с различным расстоянием точки пересечения витков А от плоскости. Из рис. 2, а видно, что расстояние между центрами сечений пар разнонаправленных витков зависит от степени удаления точки А от рассматриваемой плоскости. Расстояние максимально для левой пары контуров сечений витков, последовательно убывает для двух средних, а для правой становится равным нулю, что соответствует контактной площадке.

В соответствии с этим первая группа образована одиночными и двойными контурами сечений витков, а также контактными площадками. При этом двойные контуры дополнительно делят на две подгруппы по степени глубины пересечения контуров – до половины их диаметра и более половины. При подсчёте количества повторений каждого из вариантов этой группы установлена следующая закономерность: чем ближе точка пересечения витков А к секущей плоскости, тем меньше количество повторений вариантов взаимного положения контуров сечений витков (рис. 2, а). Вторая группа объединяет все остальные варианты взаимного положения контуров сечений витков. Для этой группы установлена закономерность: с ростом в комбинации количества пересекающихся контуров сечений витков  $n > 3$  количество подсчитанных повторений вариантов  $k$  убывает (рис. 2, б). Следует добавить, что первую группу составляют более 75% всех витков, в то время как вторую – только 25%. Поэтому на данном этапе исследования рассматриваются данные только первой группы.

График кривых аппроксимации относительных частот распределения вариантов взаимного положения контуров сечений витков представлены на рис. 3, б. На рис. 3, а в качестве примера показаны три из девяти радиально-осевых плоскостей сечения, а также показано положение радиальных каналов в этих плоскостях. Более детальное описание положения плоскостей и каналов было дано выше.

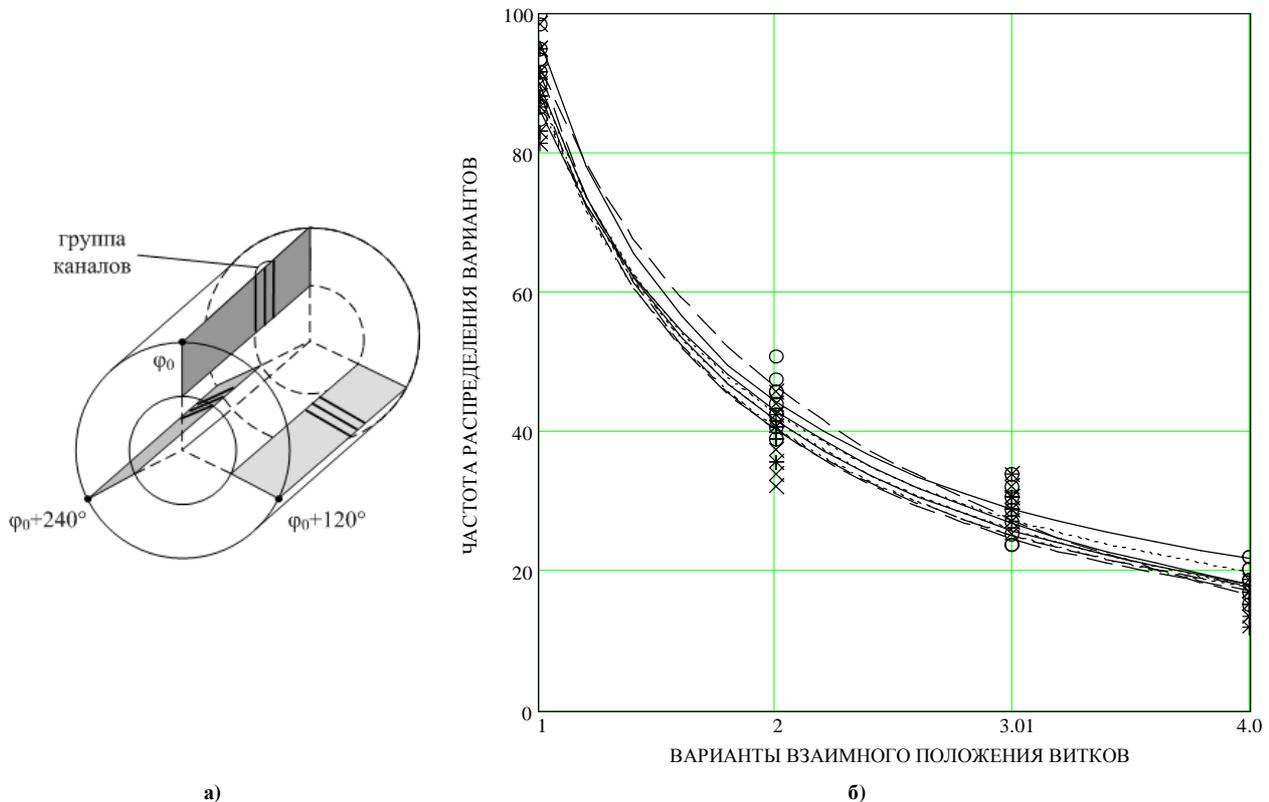


Рис. 3. График относительной частоты распределения вариантов взаимного положения контуров сечения витков для трех групп радиально-осевых плоскостей ( $\varphi_0 = 0, 40, 80$  градусов):  
 а) схематическое изображение тела паковки, плоскостей сечения и радиальных каналов;  
 б) кривые аппроксимации для 0, 120, 240, 40, 160, 280, 80, 200, 320 градусов

На графике рис. 3, б представлены результаты аппроксимации данных по трём каналам в каждой из девяти равномерно распределённых по окружности тела паковки плоскостей сечения. Каждая кривая соответствует своей плоскости сечения и представляет собой график степенной функции. Точками обозначены наборы данных для каждой кривой.

На данном этапе исследования важно оценить, насколько близки законы распределения для всего набора плоскостей. Визуальное сравнение кривых, представленных на рис. 3, свидетельствует о том, что все кривые убывают по мере роста количества одновременно пересекающихся контуров витков. Близость формы и положения всех кривых позволяют на качественном уровне судить о практически одинаковом законе распределения вариантов взаимного положения контуров сечений витков для всех рассматриваемых плоскостей.

### Выводы

Изложены результаты исследования закономерности распределения вариантов взаимного положения контуров сечений витков в радиально-осевом сечении тела паковки.

Выполнена классификация вариантов взаимного положения контуров сечений витков.

Выявлена закономерность распределения вариантов взаимного положения контуров сечений витков.

Построены графики частоты повторений вариантов взаимного положения контуров сечений витков.

На визуальном уровне установлена близость графиков относительной частоты распределения вариантов взаимного положения контуров сечения витков для радиально-осевых плоскостей.

### Литература

1. Сыс В.Б. Алгоритм вычисления траектории точки набегания в компьютерной модели структуры паковки / В.Б. Сыс // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – Херсон: 2006. – №1(11). – С. 88–96.

2. Сыс В.Б. Алгоритм послойного расчета параметров межвиткового взаимодействия в компьютерной модели структуры паковки / В.Б. Сыс // Проблемы легкой и текстильной

промышленности Украины. – Херсон, 2005. – № 1 (10). – С. 142–150.

3. Сыс В.Б. Алгоритм послойного расчёта изменения параметров структуры паковки в поле центробежных сил / В.Б. Сыс // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – Херсон: 2006. – № 2 (12). – С. 77–82.

4. Сыс В.Б. Подсистема обработки и визуализации результатов компьютерного моделирования структуры паковки / В.Б. Сыс // Вестник Херсонского государственного технического университета. – Херсон: 2005. – № 3 (23). – С. 164–167.

5. Задача раздельного отображения контуров сечений разнонаправленных витков в модели структуры паковки: материалы международной научно-практической конференции [“Легкая и текстильная промышленность: современное состояние и перспективы”], (Херсон, 27–29 сент. 2011г.) / М-во образ. и науки, молод. и спорта Украины, Херс. нац. тех. ун-т, Хмельн. нац. ун-т, Киевск. нац. ун-т технол. и дизайна. – Х. Херс. нац. тех ун-т, 2011. – 103 с.

Надійшла 14.5.2012 р.

Рецензент: д.т.н. В.В. Марасанов

УДК 621.316

О.С. РУБАНЕНКО, К.І. КРАВЦОВ, О.О. РУБАНЕНКО

Вінницький національний технічний університет

## МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ РЕГУЛЯТОРІВ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ ТРАНСФОРМАТОРІВ

*Запропоновано для діагностування регуляторів під навантаженням (РПН) трансформаторів високої напруги використовувати мікропроцесорну систему діагностування РПН (СДРПН). Проаналізовано вимоги до СДРПН, виділено основні особливості її структурної схеми. Вдосконалено структурну схему СДРПН.*

*Proposed for diagnosis of regulator under load (RUL) of high voltage transformers use microprocessor system diagnostics of RUL. Analyzed of requirements for RUL diagnostics system, highlighted the main features of its structural scheme. Improved structural scheme the RUL diagnostics system.*

Ключові слова: регулятор під напругою, система діагностування РПН.

**Вступ.** Властивістю сучасних ЕЕС, яка ускладнює процес керування і значно зменшує ефективність керувальних впливів, є зростання частки обладнання, яке відпрацювало нормативний термін. В разі необхідності продовження його експлуатації, актуальною стає проблема визначення поточного стану та залишкового ресурсу. В багатьох країнах світу, а серед них і в Україні, частка обладнання, яке відпрацювало свій паспортний ресурс, перевищила половину [1]. Тому ознакою сьогодення є підвищення вимог із забезпечення безпечної і безаварійної експлуатації такого обладнання. Це викликано спадом темпів створення нового обладнання, зростанням потужності енергооб'єктів і зростанням конкуренції між енергокомпаніями, викликані переходом до ринку електроенергії.

Керування параметрами нормального режиму електроенергетичних систем (ЕЕС) може здійснюватись з використанням РПН трансформаторів [2]. Однак, термін експлуатації багатьох трансформаторів перевищує 25 років [3]. Подальша експлуатація такого застарілого обладнання вимагає вдосконалення методів і засобів контролю РПН трансформаторів з метою врахування їх технічного стану в процесі керування параметрами нормального режиму. Діагностування силового електротехнічного устаткування зокрема силових трансформаторів, сьогодні стає звичним технічним заходом підвищення надійності і якості електропостачання [4]. Тому актуальною є задача моніторингу за станом силового обладнання з метою визначення поточної якості функціонування. Метою роботи є вдосконалення мікропроцесорної системи діагностування РПН трансформаторів, що дозволить визначати якість їх функціонування.

Мікропроцесорна система діагностування РПН трансформаторів складається з пристрою діагностування РПН трансформаторів, персональної електронної обчислювальної машини (ПЕОМ), з'єднувальних проводів.

### Вимоги до пристрою діагностування РПН трансформаторів.

В наш час в Україні експлуатуються багато пристроїв та систем, які дозволяють діагностувати РПН з метою визначення його технічного стану за більшою кількістю діагностичних параметрів, а саме «Рекон» (НВП «Рекон»), «Ганімед» (ТОВ Димрус, Росія), мікропроцесорна система діагностики контактів контактора регуляторів напруги трансформаторів (ДІАРПН) (Інститут мікропроцесорних систем керування об'єктами електроенергетики НУ “Львівська політехніка”) та інші [5– 7]. Тому, пропонуємо систему діагностування РПН трансформатора (СДРПН) [8], яка задовольняє наступним вимогам: час встановлення робочого режиму системи не перевищує 1 хв з моменту її увімкнення в мережу; у випадку знеживлення система забезпечує збереження введеної в неї інформації, а також інформації, отриманої під час роботи, на період не менше шести місяців, система забезпечує зчитування накопиченої інформації на флеш – карту з наступним перенесенням її на переносний комп'ютер; живлення системи здійснюється від мережі змінного