

Компьютерная конечно-элементная модель взаимодействия утка с основными нитями в процессе прибоа на ткацком станке

П.А. Севостьянов, Т.А. Самойлова, М.Л. Тихомирова
Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина,
(Технологии. Дизайн. Искусство), Российская Федерация
E-mail: petrsev46@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается компьютерная модель взаимодействия утка с нитями основы в процессе прибоа на ткацком станке. Модель позволила изучить динамику воздействия утка на основные нити во время прибоа и обратную реакцию нитей основы на уток. Моделирование выполнено с применением метода конечных элементов.

Ключевые слова: моделирование, ткань, основа, уток, деформация.

Computer Finite Element Model of Weft Interaction with the Warp during Battening on a Loom

P. Sevostyanov, T. Samoylova, M. Tikhomirova
The Kosygin State University of Russia, (Technology, Design, Art), Russian Federation
E-mail: petrsev46@yandex.ru

Annotation. The article discusses a computer model of weft interaction with warp during battening on a loom. The model enables to study the dynamics of the impact of a weft on the wrap during the battening and the reverse reaction of the warp on weft. The simulation was performed using the finite element method.

Key words: modeling, fabric, warp, weft, deformation.

Процесс прибоа уточной нити к опушке ткани и формирования нового элемента ткани настолько важен, что, несмотря на огромное количество исследований, тема по-прежнему остается актуальной, и новую информацию получают с применением все более современных, ранее недоступных методов. Один из последних полных обзоров на эту тему сделал Б.М. Примаченко [1]. Отметим, что при всем обилии работ динамика деформации нитей в области их взаимодействия при прибое не рассматривалась, поскольку все модели основывались на конечномерных или одномерных моделях.

Во многих тканях технического назначения в качестве основы и утка применяют не пряжу, а монопнити. В этих случаях специфическая структура пряжи, обусловленная большим числом образующих ее волокон, не оказывает своего влияния на взаимодействие нитей в процессе формирования элемента ткани [2]. Поэтому для анализа взаимодействия можно использовать методы механики деформируемых сплошных сред, в частности, метод конечных элементов (МКЭ) [3, 4]. Компьютерное моделирование с применением МКЭ позволяет получить детальную информацию о динамике воздействия утка на основные нити во время

прибоа и обратной реакции нитей основы на уток, сжатие его поперечного сечения [5–7].

Поскольку прибоем уточной нити осуществляется сразу по всей ширине станка, уточная нить взаимодействует одновременно со всеми основными нитями в заправке, количество которых исчисляется сотнями и тысячами. Это обстоятельство позволяет рассматривать два варианта усредненной по нитям основы геометрической модели (рис. 1).

В них раскрытый зев нитей основы представлен крестообразной фигурой. Уточная нить под действием зубьев берда прижимается к нитям основы и вдавливается в створ зева. Считать воздействие берда на уток ударом вряд ли правомерно, поскольку ни в одной из моделей не учитываются масса и инерция утка. На наш взгляд, правильнее рассматривать принудительное перемещение утка под действием берда. Деформация как утка, так и основы происходит вследствие такого перемещения, которое передается через уток основным нитям, и определяется взаимодействием этих трех составляющих процесса прибоа «бердо – уточная нить – система основных нитей». Разумеется, на результат – строение сформированного элемента ткани – влияют натяжения в системе упругой заправки нитей и ранее

заработанные в полотно уточные нити, но в нашем случае эти факторы не включены в модель.

Если у материала уточной нити достаточно высокий модуль упругости, то нить сохраняет форму круга (на рисунке 1 геометрическая модель слева, вариант 1). Если же материал уточной нити сжимается под действием сил со стороны берда и нитей основы, то поперечное сечение утка приобретает форму,

соответствующую створу. Эта форма существенно отличается от круга, эллипса или другой округлой формы, какой ее обычно принимают при описании взаимодействия основы и утка (на рисунке 1 геометрическая модель справа, вариант 2). В обоих случаях зубья берда вдавливают уточину в створ зева, перемещаясь на определенную величину вдоль оси и деформируя и уток, и основу.

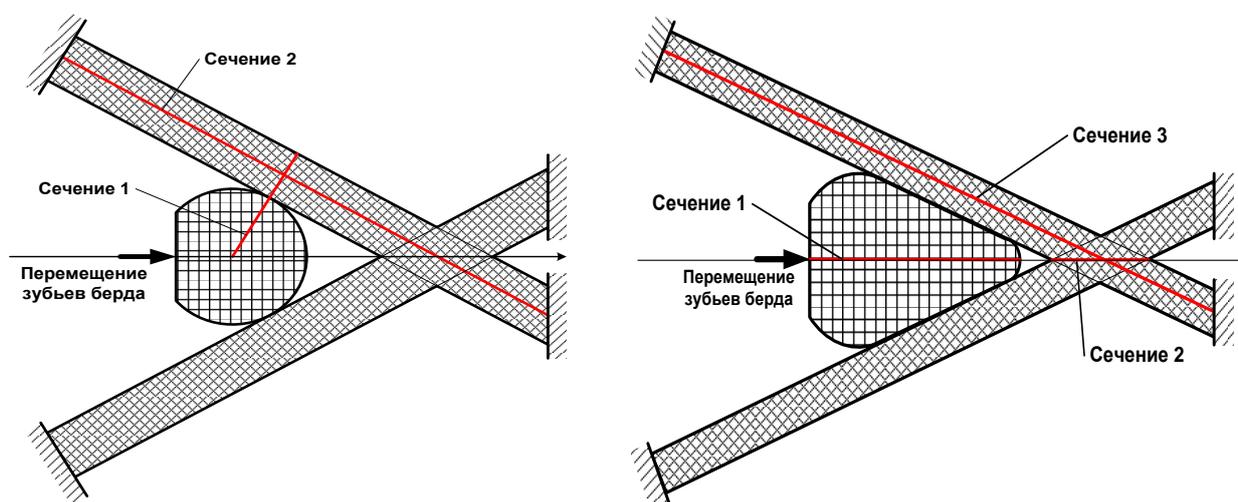


Рисунок 1 – Первый и второй варианты геометрической модели взаимодействия нити утка с системой основных нитей в процессе прибоя

МКЭ позволяет получить полную картину деформаций и напряжений в динамике их развития по всей площади системы, представленной моделями на рисунке 1. Для ее отображения и сравнения 2 вариантов взаимодействия системы «бердо – уток – основа» ограничимся распределениями интегрального показателя механического напряжения, известного как «напряжение по фон Мизесу» [8], вдоль линий 1 и 2 для варианта 1 и линий 1, 2 и 3 для варианта 2 в предельном правом положении берда. Эпюры этих распределений показаны на рисунке 2. Выбор сечений обусловлен результатами предварительного эксперимента по двумерным распределениям напряжения по фон Мизесу и компонентов тензоров напряжения и деформации и соответствует наиболее напряженным участкам сечений нитей. Распределение напряжений по фон Мизесу на сетке конечных элементов в состоянии максимальной деформации (максимального перемещения берда) показано на рисунке 3.

Моделирование проводилось в системе Comsol. В МКЭ использовались четырехугольные элементы сетки произвольной формы. Задача решалась как динамический процесс нарастающего перемещения поперечного сечения утка в створ нитей основы. По мере продвижения и уток, и нити основы деформировались. Уток подвергался сжатию и изменению формы сечения, а основные нити изгибались, вытягивались и утонялись, что следует из

полученных эпюр для координатных компонентов тензоров напряжений, деформаций, их инвариантов и главных компонентов на протяжении всего времени прямого и возвратного перемещения берда. Материал нити утка – nylon 6.6, материал основных нитей – nylon 6 (Cartron). Начальные модули упругости равны соответственно 1700 МПа, 1100 МПа.

Перемещение берда в направлении оси задавалось функцией $A \sin(\pi t / T)$, составляя половину периода синусоидальной функции и моделируя тем самым прямое и обратное движение берда при прибое относительно кромки полотна. В модельных переменных амплитуда A и время прибоя T были приняты равными единице, моменты отдельных этапов процесса отсчитывались и показаны на эпюрах рисунке 2 в долях от времени T .

Приведенные на рисунке 2 эпюры, как и распределения показателей деформации и механических напряжений по площади сечений рассматриваемой системы нитей, показали, что в случае жесткой уточной нити возникают локальные участки с весьма значительными напряжениями, во много раз превосходящими усредненные уровни напряжений, которые можно найти по известным конечномерным или одномерным моделям деформации. Эти участки сосредоточены в местах контакта нити утка с нитями основы. Большие напряжения могут провоцировать разрушение нитей основы, т. е. обрывы.

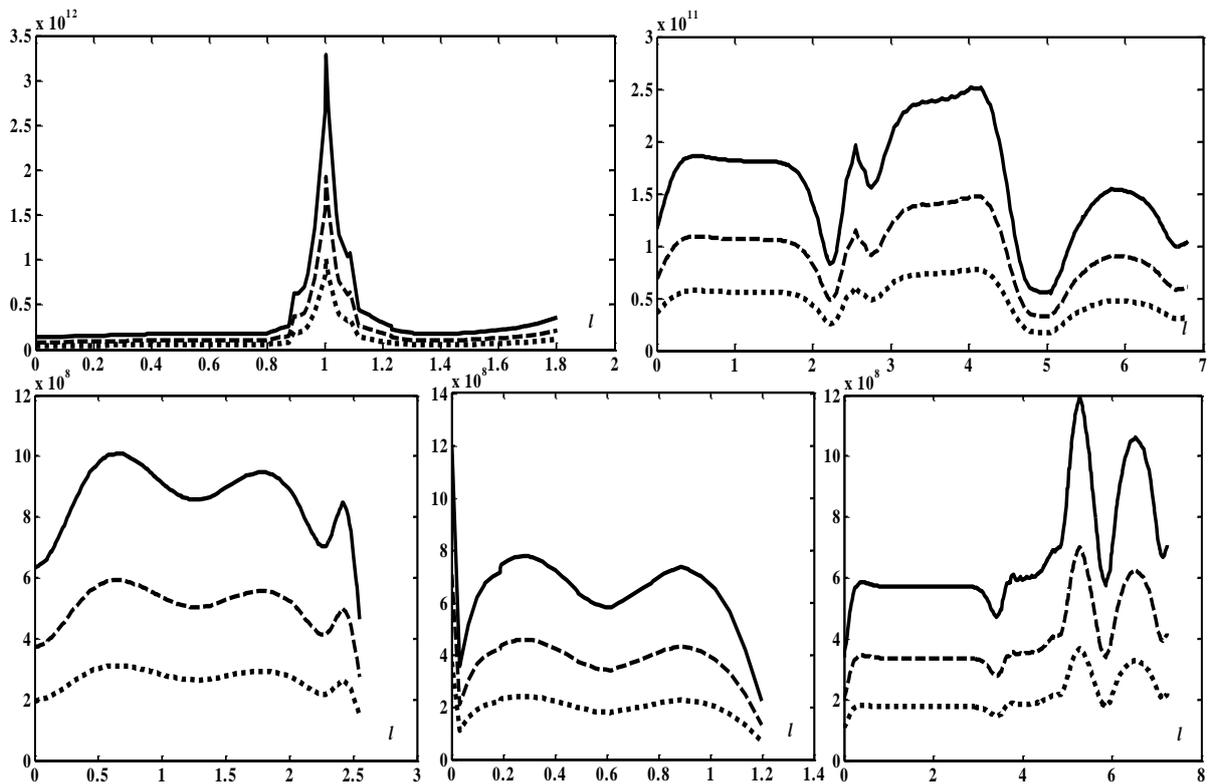


Рисунок 2 – Эпюры распределения механических напряжений по фон Мизесу вдоль сечений 1 и 2 модели 1 и вдоль сечений 1, 2 и 3 модели 2

Примечание: по оси абсцисс всех эпюр отложена линейная координата, отсчитанная вдоль сечений. Пунктирная, сплошная и штриховая линии эпюр построены для моментов времени, соответствующих 10 %, 50 % и 80 % от полного цикла перемещения берда от начала до конца прибора.

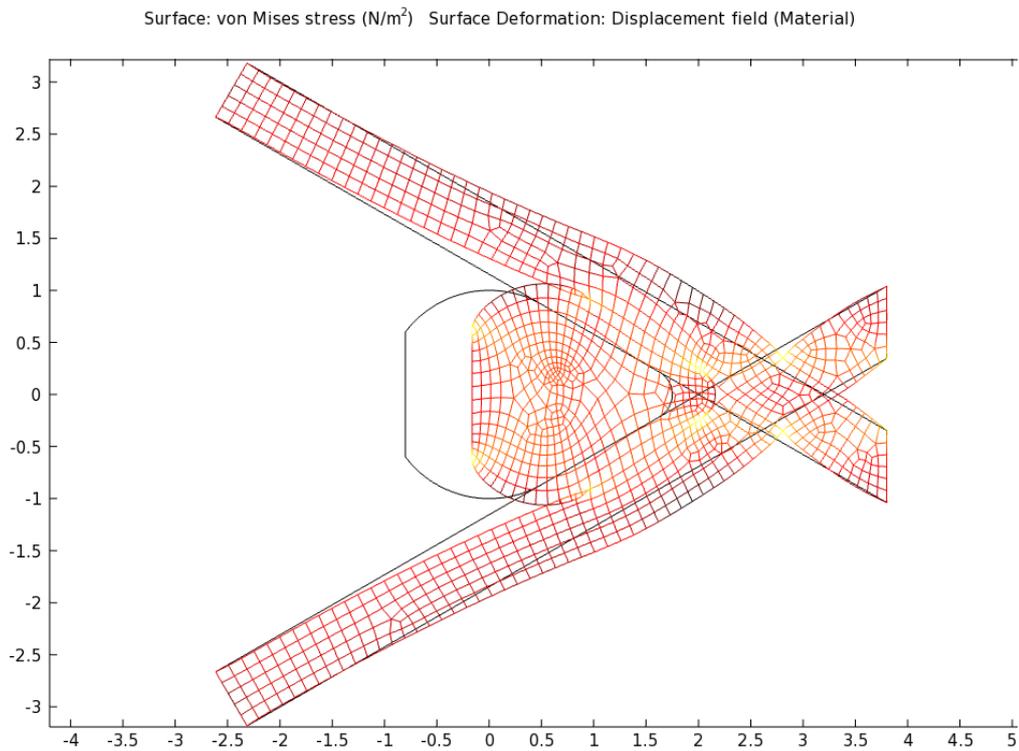


Рисунок 2 – Распределение механических напряжений в системе взаимодействующих уточной и основных нитей для 2-го варианта модели в момент наибольшего перемещения берда ($t = 50\% T$)

Менее жесткие уточные нити принимают часть нагрузки на себя, изменяя свою форму. При этом давление со стороны утка на нити основы распределяется по большей площади. Это исключает возникновение участков с концентрацией больших механических напряжений и деформаций и приводит к практически равномерному распределению напряжений по площади сечений утка и нитей основы. Тем самым открывается возможность интенсифицировать процесс формирования ткани без опасности повышения обрывов нитей основы.

Отметим также характерную для обоих рассмотренных вариантов взаимодействия нитей утка

и основы неравномерность распределения напряжений вдоль нитей основы в процессе прибора. Вариации натяжения на соседних участках длины нитей варьируют в значительных пределах, создавая неодинаковые условия нагрузки. Учитывая, что нити основы имеют заметные вариации по прочности вдоль своей длины, а также силы трения основы о зубья берда, можно предположить, что неблагоприятное сочетание этих факторов также может явиться источником повышенной обрывности основных нитей или нарушения структуры на локальных участках формируемого тканого полотна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Primachenko, B. M. Razrabotka metodov prognozirovaniya struktury i jeksplua-tacionnyh svojstv tkanej bytovogo i tehničeskogo naznachenija na osnove teh-nologičeskikh parametrov ih proizvodstva : dis. ... doktora tehničeskikh nauk / B. M. Primachenko. – Sankt-Peterburg, 2009. – 406 s.
2. Sevost'janov, P. A. Komp'juternoe modelirovanie tehnologičeskikh processov i produktov prjadenija : monografija / P. A. Sevost'janov. – Moskva : Izdatel'stvo «Inform-Znanie», 2006. – 448 s.
3. Sevost'janov, P. A. Komp'juternye modeli v mehanike voloknistyh materialov : monografija / P. A. Sevost'janov. – Izdatel'stvo «Tiso Print», 2013. – 254 s.
4. Sevost'janov, P. A. Prostaja konechnojelementnaja model' udlinenija obrazca tkanogo polotna / P. A. Sevost'janov, T. A. Samojlova, V. V. Monahov // Materialy i tehnologii. – 2018. – № 1. – S. 33–36.
5. Sevost'janov, P. A. Raspredelenie deformacij po osnove i vlijanie utočnyh nitej na deformaciju pri modelirovanii udlinenija osnovnoj niti v tkani / P. A. Sevost'janov, T. A. Samojlova, V. V. Monahov // Izvestija vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyšlennosti. – 2018. – № 3 (375). – S. 163–166.
6. Dinamika udlinenija i razryva kompleksnyh nitej i ee zavisimost' ot svojstv jelementarnyh nitej pri modelirovanii poluciklovyh deformacij / P. A. Sevost'janov [i dr.] // Himičeskie volokna. – 2017. – № 2. – S. 64–66.
7. Sevost'janov, P. A. Model' i jenergetičeskie aspekty rasprostraneniya deformacii i mehaničeskikh naprjazhenij v tekstil'nyh polotnah / P. A. Sevost'janov, T. A. Samojlova // Himičeskie volokna. – 2018. – № 2. – S. 40–42.
8. Ishlinskij, A. Ju. Matematičeskaja teorija plastičnosti : monografija / A. Ju. Ishlinskij, D. D. Ivlev. – M. : FIZMATLIT, 2001. – 704 s.

REFERENCES

1. Primachenko, B. M. Development of methods for predicting the structure and operational properties of household and technical fabrics based on the technological parameters of their production : dis. ... doctor of technical sciences / B. M. Primachenko. – St. Petersburg, 2009. – 406 p.
2. Sevostyanov, P. A. Computer modeling of technological processes and spinning products : monograph / P. A. Sevostyanov. – Moscow : Publishing house «Inform-Knowledge», 2006. – 448 p.
3. Sevostyanov, P. A. Computer models in the mechanics of fibrous materials : monograph / P. A. Sevostyanov. – Publishing house «Tiso Print», 2013. – 254 p.
4. Sevostyanov, P. A. A simple finite element model for lengthening a sample of a textile web / P. A. Sevostyanov, T. A. Samoilova, V. V. Monakhov // Materials and Technologies. – 2018. – № 1. – P. 33–36.
5. Sevostyanov, P. A. Distribution of deformations on the basis and the effect of weft threads on the deformation when modeling the elongation of the main thread in the fabric / P. A. Sevostyanov, T. A. Samoilova, V. V. Monakhov // Izvestiya Vuzov. Technology textile industry. – 2018. – № 3 (375). – P. 163–166.
6. Dynamics of elongation and rupture of complex yarns and its dependence on the properties of elementary threads in the simulation of semicycle deformations / P. A. Sevostyanov [et al.] // Chemical fibers. – 2017. – № 2. – P. 64–66.
7. Sevostyanov, P. A. The model and energy aspects of the propagation of deformation and mechanical stresses in textile canvases / P. A. Sevostyanov, T. A. Samoilova // Chemical fibers. – 2018. – № 2. – P. 40–42.
8. Ishlinsky, A. Yu. Mathematical theory of plasticity : monograph / A. Yu. Ishlinsky, D. D. Ivlev. – M. : FIZMATLIT, 2001. – 704 p.

SPISOK LITERATURY

1. Primachenko, B. M. Razrabotka metodov prognozirovaniya struktury i jeksplua-tacionnyh svojstv tkanej bytovogo i tehničeskogo naznachenija na osnove teh-nologičeskikh parametrov ih proizvodstva : dis. ... doktora tehničeskikh nauk / B. M. Primachenko. – Sankt-Peterburg, 2009. – 406 s.

2. Sevost'janov, P. A. Komp'juternoe modelirovanie tehnologicheskikh processov i produktov prjadenija : monografija / P. A. Sevost'janov. – Moskva : Izdatel'stvo «Inform-Znanie», 2006. – 448 s.
3. Sevost'janov, P. A. Komp'juternye modeli v mehanike voloknistyh materialov : monografija / P. A. Sevost'janov. – Izdatel'stvo «Tiso Print», 2013. – 254 s.
4. Sevost'janov, P. A. Prostaja konechnojelementnaja model' udlinenija obrazca tkanogo polotna / P. A. Sevost'janov, T. A. Samojlova, V. V. Monahov // Materialy i tehnologii. – 2018. – № 1. – S. 33–36.
5. Sevost'janov, P. A. Raspredelenie deformacij po osnove i vlijanie utochnyh nitej na deformaciju pri modelirovanii udlinenija osnovnoj niti v tkani / P. A. Sevost'janov, T. A. Samojlova, V. V. Monahov // Izvestija vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2018. – № 3 (375). – S. 163–166.
6. Dinamika udlinenija i razryva kompleksnyh nitej i ee zavisimost' ot svojstv jelementarnyh nitej pri modelirovanii poluciklovyh deformacij / P. A. Sevost'janov [i dr.] // Himicheskie volokna. – 2017. – № 2. – S. 64–66.
7. Sevost'janov, P. A. Model' i jenergeticheskie aspekty rasprostranenija deformacii i mehanicheskikh naprjazhenij v tekstil'nyh polotnah / P. A. Sevost'janov, T. A. Samojlova // Himicheskie volokna. – 2018. – № 2. – S. 40–42.
8. Ishlinskij, A. Ju. Matematicheskaja teorija plastichnosti : monografija / A. Ju. Ishlinskij, D. D. Ivlev. – M. : FIZMATLIT, 2001. – 704 s..

Статья поступила в редакцию 3.02.2018