

УДК (UDC) 681.625

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ
УЗЛОВ МАШИН, СОДЕРЖАЩИХ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ РОЛИКИDYNAMIC LOAD SIMULATION
OF THE MACHINE NODES CONTAINING INTERACTING ROLLERSПерминова Д.И.
Perminova D.I.Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)
Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. В статье представлена динамическая модель взаимодействия роликов на примере печатных цилиндров офсетной машины. На основе решения контактной задачи определены усилия взаимодействия цилиндров, проведено прямое моделирование динамических нагрузок и колебаний, определены амплитуды колебаний и изменения давлений. Рассмотрены варианты снижения нагрузок. Проанализированы и учтены недостатки существующих моделей печатных машин.

Ключевые слова: офсетная печатная машина, взаимодействующие ролики, вынужденные колебания, динамика, метод конечных элементов.

Дата принятия к публикации: 31.05.2021
Дата публикации: 25.06.2021

Сведения об авторах:

Перминова Диана Игоревна – студент ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», e-mail: di.perm01@mail.ru.

Abstract. The article presents a dynamic model of interaction of rollers on the example of printing cylinders of an offset machine. Based on the solution of the contact problem, the interaction forces of the cylinders are determined, direct modeling of dynamic loads and vibrations is carried out, the amplitudes of vibrations and pressure changes are determined. Options for reducing loads are considered. The disadvantages of existing models of printing machines are analyzed and taken into account.

Keywords: offset printing machine, interacting rollers, forced oscillations, dynamics, finite element method.

Date of acceptance for publication: 31.05.2021
Date of publication: 25.06.2021

Authors' information:

Diana I. Perminova – student, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, e-mail: di.perm01@mail.ru.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-докторов наук №МД-422.2020.8

Acknowledgements

The study was supported by Presidential Grant for Governmental Support to Young Russian Scientists No. №MD-422.2020.8

1. Введение

Типовым узлом машин различного назначения является система взаимодействующих роликов. Примером могут служить прокатные станы, машины для офсетной печати, конвейеры, элементы стационарных и мобильных канатных дорог [1-6].

Офсетная печать является самым распространенным способом промышленной печати. Конструкции офсетных машин постоянно модернизируются. Растут скорости печати, что неизбежно приводит к росту вибра-

руженности и снижению качества печати. Основным требованием хорошего качества печати является равномерный и насыщенный переход краски с формы или с офсетного полотна на бумагу. Практика показывает, что такой переход краски достигается только если давление, возникающее при контакте печатающих элементов формы с декем, находится в фиксированном диапазоне. Одной из причин неравномерности давления печати является недостаточная жесткость печатного, формного и офсетного цилиндров на их рабочей части [3].

Поэтому актуальной научно-технической задачей является снижение колебаний рабочих узлов офсетной печатной машины. При этом наличие адекватных математических моделей и методов моделирования позволит сократить время и скорость разработки нового оборудования, что особенно важно в рыночных условиях.

В статье представлены результаты разработки математической модели для оценки динамических характеристик рабочих органов офсетной печатной машины. Разработанные подходы могут применяться для исследования динамической нагруженности широкого круга машин, содержащих взаимодействующие ролики.

2. Особенности конструкции объекта исследования

Конструктивной особенностью цилиндра печатной офсетной машины является наличие зоны затяжки полотна (рис. 1). Вдоль оси цилиндра существует прорезь шириной 2...10 мм, предназначенная для подачи полотна в затяжной механизм печатной машины. Таким образом, реальная форма элемента имеет отклонение от идеального цилиндра.

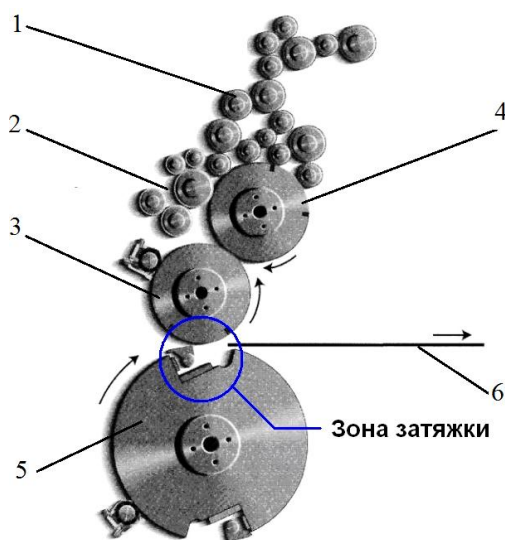


Рис. 1. Внешний вид офсетного и печатного вала машины: 1 – красочный аппарат; 2 – система увлажнения; 3 – формный цилиндр; 4 – офсетный цилиндр; 5 – печатный цилиндр; 6 – запечатываемый материал

Зона затяжки является основной причиной возникновения вибрационных колебаний в процессе работы.

3. Упрощенная математическая модель для исследования колебаний цилиндров офсетной печатной машины

В работах [3, 4, 7] предложены двухмассовые динамические модели, позволяющие смоделировать работу печатного аппарата с импульсным воздействием (рис. 2).

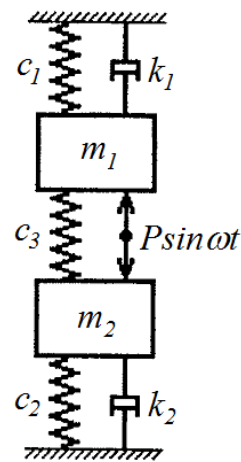


Рис. 2. Динамическая двухмассовая модель взаимодействия цилиндров офсетной печатной машины

Указанной расчетной схеме соответствует следующая система дифференциальных уравнений движения:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + k_1 \dot{x}_1 + c_1 x_1 + c_3 (x_1 - x_2) + \\ + k_2 (\dot{x}_1 - 2\dot{x}_2) = P \sin \omega t; \\ m_2 \ddot{x}_2 + k_2 \dot{x}_2 + c_2 x_2 + c_3 (x_1 - x_2) + \\ + k_2 (\dot{x}_1 - 2\dot{x}_2) = P \sin \omega t, \end{cases}$$

где m_1 , m_2 – массы цилиндров; c_1 , c_2 – жесткости цилиндров; c_3 – контактная жесткость цилиндров; k_1 , k_2 – коэффициенты демпфирования; $P \sin \omega t$ – циклическая возмущающая сила.

Приведенная модель дает приближенные зависимости, позволяющие рассчитать динамические нагрузки и вибрации, возникающие при работе ротационных печатных машин, оценить их воздействие на конструкции машины и фундамент [7].

Модель не учитывает изгибные колебания цилиндров, скачок силы происходит мгновенно, как при абсолютно неупругом ударе. Поэтому требуется создание более точных математических моделей.

4. Уточненная математическая модель для исследования колебаний цилиндров офсетной печатной машины

Сложность конструкции цилиндров и процессов их взаимодействия требует использования специальных численных методов компьютерного моделирования [8-10].

На первом этапе исследования была построена расчетная конечноэлементная модель взаимодействия цилиндров офсетной печатной машины (рис. 3). Масса цилиндра 250 кг, частота вращения 8 об/с. Для сокращения времени и трудоемкости расчета при моделировании использовалось свойство симметрии конструкции.

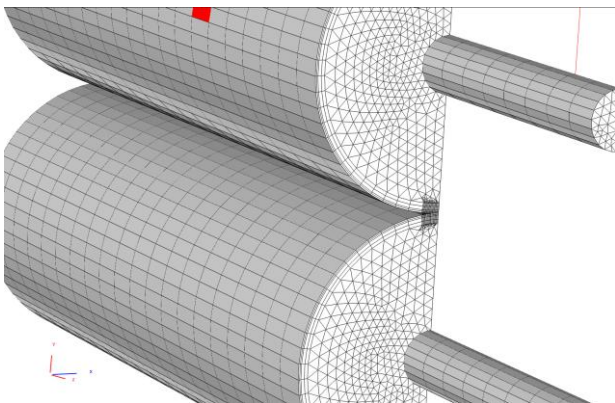


Рис. 3. Расчетная конечноэлементная модель объекта исследования

Расчет показал, что деформации изгиба влияют на распределение давлений между цилиндрами даже при статическом нагружении. В частности, давление в центре цилиндра равно 0,81 МПа, на краю – 0,86 МПа, прогиб цилиндра составляет около 3 мкм. Неравномерность давлений и прогиб существенно зависят от длины цапф цилиндров.

На втором этапе исследования с учетом полученных данных была разработана модель печатного узла офсетной печатной машины, содержащей 4 цилиндра (рис. 4).

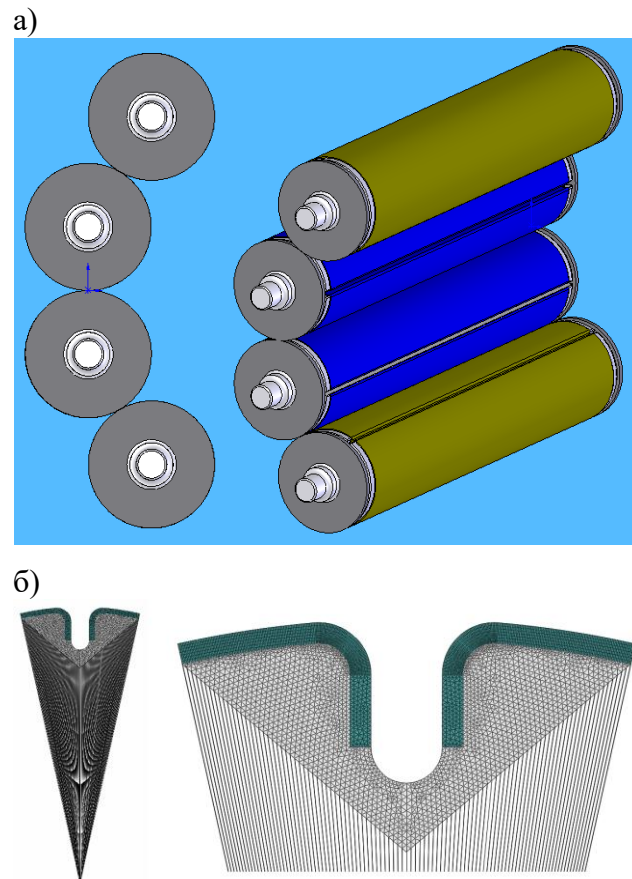


Рис. 4. Модель печатного узла:
а – общий вид; б – зона затяжки

Конечноэлементная модель содержит более 10 тысяч элементов. При этом зона перехода через затяжной механизм была разбита на элементы с размером около 0,2 мм, что гарантированно обеспечило высокую точность расчета.

Нагрузкой для модели являются силы взаимодействия между цилиндрами, которые необходимо вычислять (корректировать) на каждом шаге с учетом реального взаимодействия цилиндров. Сила взаимодействия зависит от типа цилиндров, положения и степени внедрения (натиска). Для определения реальных сил взаимодействия решена контактная задача для двух цилиндров при их разном положении и их разных исполнениях (угол поворота цилиндра и относительное внедрение) в процессе вращения. На основе этих расчетов были построены графики зависимости распределенных по длине сил взаимодействия цилиндров в зависимости от угла поворота и глубины внедрения.

График зависимости силы взаимодействия от угла поворота для контакта двух печатных цилиндров представлен на рис. 5. По оси абсцисс отложена относительная координата, которая называется – константа угла поворота. При моделировании, угол поворота цилиндра рассчитывался как частное данной константы к радиусу цилиндра. То есть, зная, что радиус барабана был равен 100 мм, можно сказать, что исследовался контакт в пределах от 0 до 0.13 рад. Аналогичные гра-

фики могут быть построены и для других цилиндров печатной машины.

Результаты предварительных расчетов были использованы для создания плагина в пакет конечноэлементного анализа, с помощью которого вычисляются силы взаимодействия при интегрировании уравнений движения системы методом Ньюмарка, что позволяет построить реализации динамических процессов, протекающих в печатной машине.

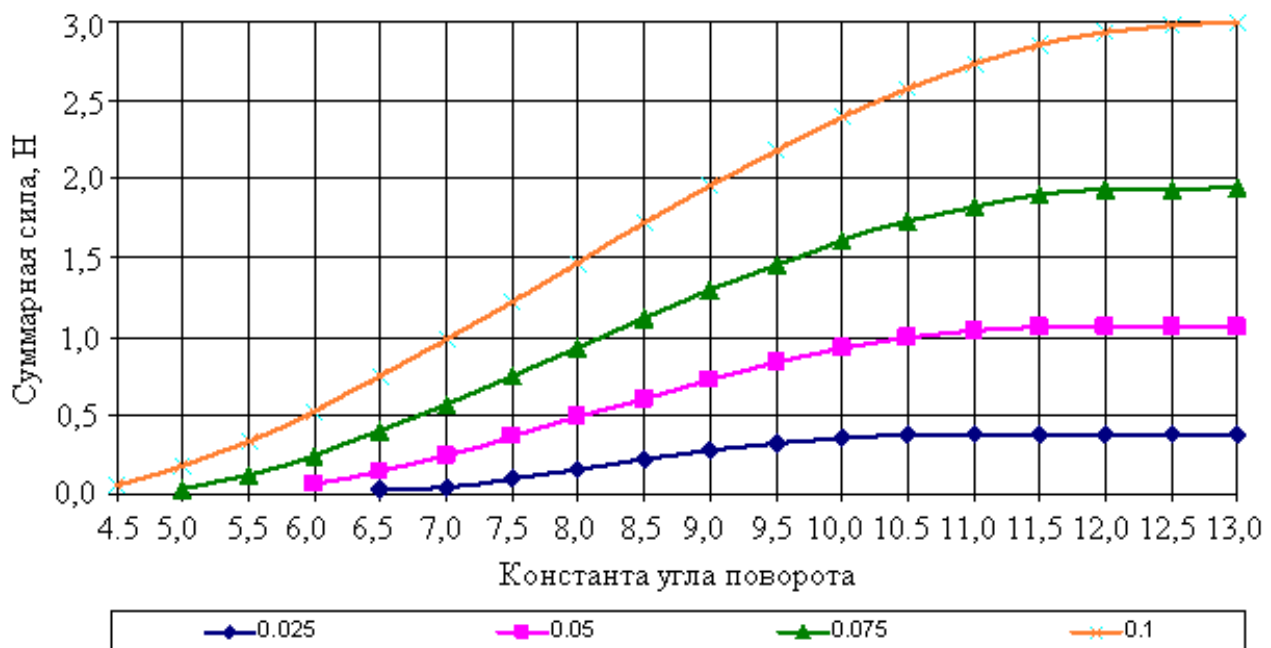


Рис. 5. Зависимость силы взаимодействия от угла для разных внедрений

При разработке итоговой динамической модели предусмотрена возможность оперативного изменения некоторых важных параметров, таких как:

- начальное время интегрирования;
- конечное время интегрирования;
- шаг интегрирования;
- шаг вывода;
- параметры демпфирования;
- скорость вращения.

Основным расчетным режимом выбран следующий:

- время интегрирования – 0,125 с (время полного оборота);
- шаг интегрирования по времени – 0,00002 с (число шагов 6250);

– шаг вывода – 0,00008 (число контрольных точек 1562);

– скорость вращения – 8 об/с (штатная скорость работы машины).

Прохождение зоны затяжки происходит за 260 шагов, что дает 65 контрольных точек. Опыты показали, что уменьшение шага интегрирования не дает заметного улучшения точности результатов.

Модель позволяет оценить горизонтальные и вертикальные координаты характерных точек модели на каждом шаге интегрирования.

Результаты моделирования динамики офсетной печатной машины при работе на номинальном режиме показаны на рис. 6.

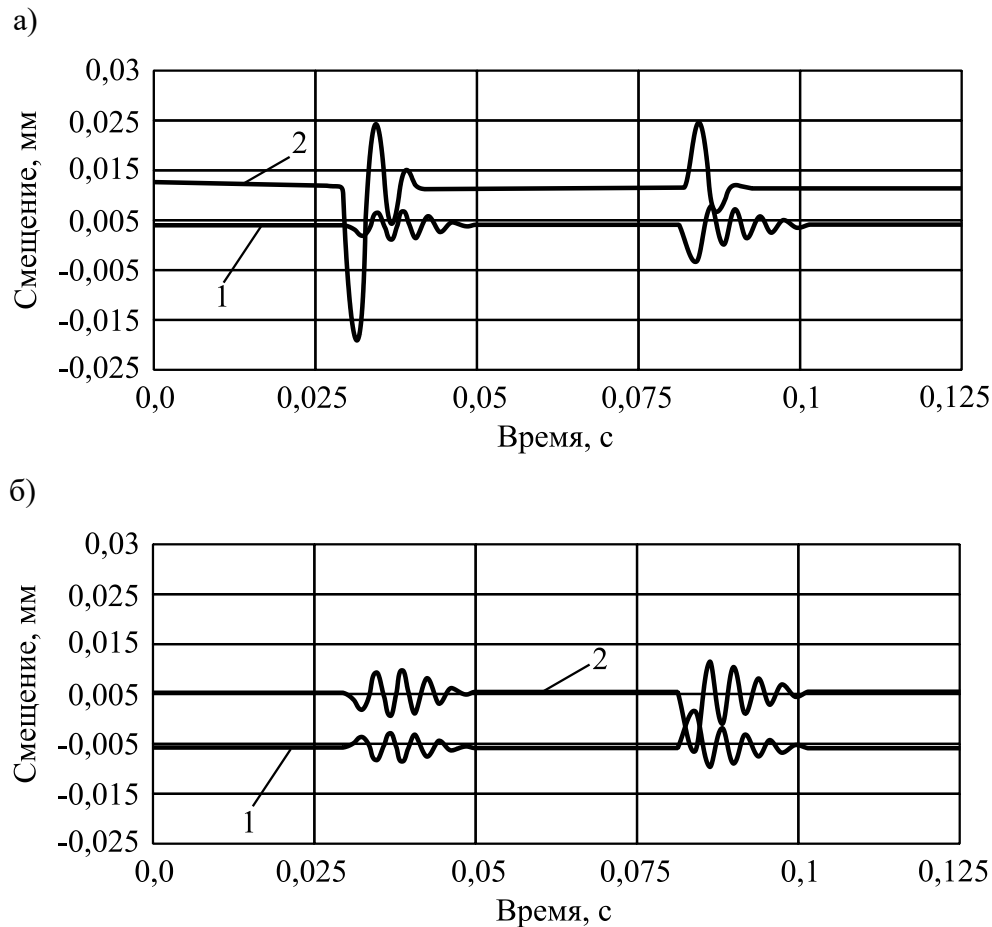


Рис. 6. Графики колебаний валов офсетной печатной машины:
 а – печатный вал; б – офсетный вал
 (1 – горизонтальная координата; 2 – вертикальная координата)

Следует отметить следующее: в начальный момент времени валы печатной машины поджаты на 0,04 мм относительно друг друга. При завышенных скоростях вращения 10 об/с максимальная амплитуда колебаний составляет 0,035 мм, что в сумме с начальным поджатием дает внедрение 0,075 мм, что в свою очередь меньше запаса по внедрению. Минимальная смещение составляет $-0,02$ мм, что в сумме с начальным поджатием дает внедрение 0,02 мм. Это говорит о корректности первоначально заложенных в модель параметров.

Из графиков на рис. 6 явно видны два такта возмущений. Первый происходит при прохождении зоны затяжки между печатными валами, второй – между печатным и офсетным валами. Учитывая схему расположения валов, можно вычислить время между всплесками амплитуд. Примерное соотно-

шение этих двух времен соответствует $2/5$ и $3/5$ от общего времени.

5. Основные выводы

В ходе исследования разработана методика моделирования и анализа динамических нагрузок офсетной печатной машины. Разработана последовательность действий при моделировании, позволившая значительно сократить время получения результатов без потери точности. Определены контактные давления. Получены зависимости амплитуд колебаний основных узлов печатной машины от различных параметров конструкции.

Следует сделать вывод, что основное внимание необходимо уделять второму такту возмущения амплитуд колебаний, так как именно они оказывают основное негативное воздействие на качество печати.

Список литературы

1. Мальцев А.И., Мальцев А.А. Исследование влияния люфтов в соединениях на динамику главной линии прокатного стана // Современные технологии. 2018. №12. С. 185-189.
2. Чехман Я.И., Сенкус В.Т., Бирбраер Е.Г. Печатные машины. М.: Книга, 1987. 304 с.
3. Суслов М.В. Оценка влияния элементов конструкции на деформации цилиндров печатной пары. М.: МГУ, 2010. 98 с.
4. Лагереv И.А., Таричко В.И., Солдатченков С.П., Игнатов Д.А. Создание экспериментального макета мобильной канатной дороги с использованием 3D-печати // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №2. С. 221-230.
5. Короткий А.А., Лагереv А.В., Месхи Б.Ч., Лагереv И.А., Панфилов А.В., Таричко В.И. Транспортно-логистические технологии и машины для цифровой урбанизированной среды. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. 268 с. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3551132>
6. Лагереv А.В., Толкачев Е.Н. Математическая модель конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально замкнутой трассой // Вестник Брянского государственного технического университета. 2014. № 3. С. 44-52.
7. Разинкин Е.В., Куликов Г.Б. Влияние динамических нагрузок в офсетных ролловых ротационных печатных машинах на качество печати // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2006. №1. С. 52-62.
8. Киятина И.И., Лагереv И.А. Формирование компетенций в области современных сквозных цифровых технологий у обучающихся по направлению «Реклама и связи с общественностью» // Ученые записки Брянского государственного университета. 2020. №2. С. 11-15.
9. Вершинский А.В., Лагереv И.А., Шубин А.Н., Лагереv А.В. Численный анализ металлических конструкций подъемно-транспортных машин. Брянск: РИО БГУ, 2014. 186 с.

References

1. Maltsev A.I., Maltsev A.A. Investigation of the influence of backlash in joints on the dynamics of the main line of the rolling mill. *Sovremennye tekhnologii*, 2018, No.12, pp. 185-189. (In Russian)
2. Tchekhman Ya. I., Senkus V.T., Vibrayer E.G. *Pechatnye mashiny* [Printing Machines]. Moscow, Kniga, 1987. 304 p. (In Russian)
3. Suslov M.V. Otsenka vliyaniya elementov konstruktсии na deformatsii tsilindrov pechatnoi pary [Evaluation of the influence of structural elements on the deformation of the cylinders of the printing pair]. Moscow, Kniga, 1987. 304 p. (In Russian)
4. Lagerev I.A., Tarichko V.I., Soldatchenkov S.P., Ignatov D.A. The experimental model creation of a mobile ropeway by 3D-printing. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.2, pp. 221-230. (In Russian)
5. Korotkiy A.A., Lagerev A.V., Meskhi B.Ch., Lagerev I.A., Panfilov A.V., Tarichko V.I. *Transportno-logisticheskie tekhnologii i mashiny dlya tsifrovoy urbanizirovannoy sredy* [Transport and logistics technologies and machines for the digital urban environment]. Rostov-on-Don, Don State Technical University, 2019. 268 p. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3551132> (In Russian)
6. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Mathematical model of a special conveyor with suspended belt and distributed drive. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.3, pp. 44-52. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302231> (In Russian)
7. Razinkin E.V., Kulikov G.B. Influence of dynamic loads in offset roll rotary printing machines on print quality. *Izvestiya vyshikh uchebnykh zavedenii. Problemy poligraphii i izdatelskogo dela*, 2006, №1, pp. 52-62.
8. Kiyutina I.I., Lagerev I.A. Formation of competencies in the field of modern end-to-end digital technologies for students in the direction of PR. *Uchenye zapiski Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.2, pp. 11-15. (In Russian)
9. Vershinckiy A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Chislennyy analiz*

