

Таблица 5. Оценка погрешности математических моделей

Обрабатываемая поверхность	T , мин	$M(T)$, мин	δ_T , %	H_r , мкм	$M(H_r)$, мкм	δ_{H_r} , %
Торец	54	58,7	8,0	84	78,4	7,1
Конус	54	49,1	10,0	84	93,0	9,7
Совокупность конуса, цилиндра, сферы	45	49,8	9,7	65	60,2	8,0

При использовании в качестве критерия износа резца периода стойкости, в качестве аргумента использовался предельный размерный износ, определяемый экспериментально, т.е. H_{r3} . Соответствующий ему период стойкости определяется по зависимости, получаемой из уравнения (10)

$$T = \frac{H_{r3} - h_0}{V_r},$$

где для определения скорости размерного изнашивания используются экспериментальные значения h_r за время T , т.е. применяется экспериментальная зависимость $h_r = f(T)$.

Статистическая оценка результатов экспериментов производилась по общеизвестным методикам. Математическое ожидание величины радиального износа и периода стойкости определялось по формулам:

$$M(h_r) = \sum_{i=1}^n h_{ri} p_i; \quad M(T) = \sum_{i=1}^n T_i p_i,$$

где h_{ri} , T_i , p_i – радиальный износ, период стойкости и частоты, соответствующие этим величинам в i -ом эксперименте, n – число экспериментов.

Значения $M(h_r)$ и $M(T)$ затем сравнивались с расчетными, полученными по теоретическим зависимостям.

Погрешности определения радиального износа δ_{H_r} и периода стойкости δ_T составляют:

$$\delta_{H_r} = \frac{H_r - H_{r3}}{H_{r3}} \cdot 100\%; \quad \delta_T = \frac{T - T_3}{T_3} \cdot 100\%,$$

где H_r и T – расчетные значения предельного радиального износа и периода стойкости; H_{r3} и T_3 – фактические (экспериментальные) значения этих величин.

Результаты сравнительного анализа расчетных и экспериментальных данных представлены в табл. 5. Погрешность расчета радиального износа и периода стойкости при обработке различных сложных поверхностей с переменной скоростью резания составляет

соответственно 7,1–9,7 % и 8,0–10,0 %, что свидетельствует об адекватности разработанных математических моделей.

Заключение. Анализ полученных результатов показывает следующее:

1. Разработанные математические модели позволяют определить период стойкости, величину износа инструмента и машинное время при обработке деталей с переменной скоростью резания для любого аналитически описываемого контура, включая контуры, заданные сплайнами.
2. Результаты расчета при описании контура детали аппроксимирующим сплайном практически совпадают с результатами при задании контура математическим уравнением.
3. Использование сплайн-функций в виде полинома позволяет использовать разработанные модели стойкости и величины износа инструмента при программировании обработки сложных контуров средствами современных систем ЧПУ.
4. Экспериментальные исследования показали, что погрешность расчета радиального износа и периода стойкости инструмента при обработке деталей сложной формы с переменной скоростью резания составляет около 10,0 %, что свидетельствует об адекватности разработанных математических моделей.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / редкол.: под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.
2. В.И. Туромша, Чан Ким Тоан. Токарная обработка деталей сложной формы с переменной скоростью резания. // Весці Акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1995. – №2. – С. 48–53.
3. Ящерицын, П.И. Период стойкости и износ резцов при нестационарном резании на токарных станках с ЧПУ / П.И. Ящерицын, В.И. Туромша, Чан Ким Тоан // Весці Акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1993. – №4. С. 40–47.
4. Макаров, А.Д. Оптимизация процессов резания. – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.

Материал поступил в редакцию 05.10.10

TUROMSHA V.I., MISHCHENKO S.N. Modeling of stability of the tool at processing with variable speed of cutting of contours given spline

The developed mathematical models allow to define the period of stability, size of deterioration of the tool and machine time at processing details with variable speed of cutting on turning machine tools with NSC for any analytically described contour, including contours given spline. The analysis of results of modeling on an example spherical, elliptic, hyperbolic etc. surfaces given by the equation and approximate spline, shows high accuracy of the developed mathematical models. The error of account of radial deterioration and period of stability in relation to experimental data does not exceed 10 %, that confirms adequacy of the developed mathematical models.

УДК 620.1.001.4

Мирошниченко И.А.

ОБРАБОТКА ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ ВЕСОВОГО СУММИРОВАНИЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Введение. Актуальность проблемы диагностики диктуется острой необходимостью организации оперативного безразборного контроля технического состояния машин и механизмов на всех ста-

диях их жизненного цикла: как на этапах проектирования и изготовления, так и на этапах эксплуатации и ремонта. Назначение диагностики заключается не только в выявлении, но и в предупреждении

Мирошниченко Игорь Александрович, старший преподаватель кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Машиностроение

отказов и неисправностей, поддержание нормальных регулировок эксплуатационных показателей в установленных пределах, прогнозирование состояния в целях полного использования доремонтного и межремонтного ресурса.

Эффективный контроль фактического состояния технических объектов значительно снижает материальные и трудовые затраты на техническое обслуживание и ремонт, обеспечивает безаварийную эксплуатацию дорогостоящего и уникального оборудования. Высокий экономический эффект достигается за счет устранения ненужных переборок и необоснованных простоев оборудования, сокращения сроков и объема ремонтных работ, экономии запчастей и горюче-смазочных материалов, повышения точности технологического цикла, а следовательно, и качества выпускаемой продукции.

Требования обеспечения комплексной безразборной оценки технического состояния машин и механизмов в рабочих условиях выдвигают на передний план разработку именно методов диагностики, которые были бы чувствительны к различным отклонениям параметров технического состояния от нормы. В связи с постоянным усложнением техники, ростом числа диагностируемых узлов и параметров, естественно предъявляются высокие требования и к информационно-измерительным системам, качеству алгоритмов формирования диагностических признаков и правил их распознавания, быстрдействию ЭВМ и т.д.

В статье описан принцип функционирования измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) для совместной оценки и анализа параметров вибрационной нагруженности и кинематической точности зубчатых приводов; рассмотрен метод весового суммирования при обработке входных сигналов от импульсных датчиков.

Состав измерительно-вычислительного комплекса. В общей сложности ИВК должен содержать следующие составные части: базовый модуль; импульсные преобразователи угла поворота входных и выходных звеньев; установленные на корпусе контролируемого механизма вибропреобразователи, подключенные к входам усилителей заряда (иных согласующих устройств). Комплекс может использоваться при исследовании натуральных объектов различной степени сложности.

Базовый модуль содержит в себе источник сетевого питания и системную плату. В посадочные разъемы системного модуля устанавливаются функциональные модули. Их тип и количество определяются спецификой решаемых пользователем с помощью комплекса задач. Возможны три типа функциональных модулей: модуль ввода, предварительного преобразования и обработки сигналов от импульсных датчиков, от аналоговых датчиков, от кодовых датчиков.

Модуль ввода и предварительного преобразования и обработки сигналов от импульсных датчиков служит для получения по сигналам с выходов импульсных преобразователей угловых перемещений сигнала о кинематической погрешности исследуемого зубчатого механизма, а также его предварительной обработки - выделения составляющих его периодической компоненты. Этот модуль также используется для формирования системы отсчета для синхронных процедур обработки, реализуемых измерительно-вычислительным комплексом.

Модуль ввода и предварительного преобразования сигналов от аналоговых датчиков служит для ввода и предварительного преобразования в цифровую форму сигналов от датчиков, предоставляющих информацию о процессах, сопровождающих работу зубчатого механизма в аналоговом виде. Таким датчиками могут являться датчики виброускорений, виброскорости и виброперемещений.

Модуль ввода и предварительного преобразования сигналов от кодовых датчиков служит для восприятия и предварительного преобразования информации от датчиков, представляющих информацию о физических процессах, сопровождающих работу зубчатого механизма, в виде цифрового кода.

Особенностью базового системного модуля является возможность практически неограниченно наращивать измерительно-вычислительный комплекс. При этом ИВК представляет собой ло-

кальную вычислительную сеть, базовые системные модули которой являются проблемно ориентированными локальными измерительно-вычислительными системами – клиентами сети, а базовая ПЭВМ играет роль файл-сервера, посредством которого осуществляется управление локальными измерительно-вычислительными системами, сбор информации, ее накопление, вторичная обработка и отображение. При этом реально обеспечивается многозадачный режим, а также не происходит потери измерительной информации на тех промежутках времени, когда в процессе исследований пользователь осуществляет вторичную обработку ранее полученной информации.

Обработка входных сигналов методом весового суммирования. Модуль ввода, предварительного преобразования и обработки сигналов от импульсных датчиков осуществляет сравнение закона движения ведомого звена контролируемой зубчатой передачи с законом, соответствующим закону движения ведомого звена передачи, имеющей кинематическую схему контролируемого механизма и идеальную геометрию элементов, в которой не проявляются динамические явления погрешности изготовления и деформации, присущие реальным инерционно-жесткостным свойствам испытываемого объекта.

Получение сигнала о кинематической погрешности основано на методе весового суммирования. В соответствии с ним производится получение оценок углов поворота начального и конечного звеньев контролируемой передачи с их последующим весовым алгебраическим суммированием. При этом формирование сигнала о кинематической погрешности осуществлялось в полном соответствии с ее определением, которое можно выразить соотношением [4]:

$$\Delta\varphi_{\Sigma}(\varphi_1) = \varphi_2(\varphi_1) - \frac{\varphi_1}{U_{\Sigma}}, \quad (1)$$

где $\Delta\varphi_{\Sigma}(\varphi_1)$ – кинематическая погрешность; $\varphi_2(\varphi_1)$ – текущее значение угла поворота ведомого звена передачи как функция угла поворота её начального звена; U_{Σ} – передаточное число исследуемой передачи.

Метод весового суммирования полностью соответствует условиям получения сигнала о кинематической погрешности передач с произвольным передаточным отношением. У него отсутствуют недостатки, присущие фазоимпульсному методу, наиболее широко используемому в промышленно выпускаемых измерительных устройствах.

Алгоритм преобразования измерительной информации в соответствии с методом весового суммирования при его реализации цифровыми средствами можно представить в виде [2]:

$$\Delta\varphi_{\Sigma}(\varphi_1) = \left[[\varphi_2(\varphi_1)] \bmod A - \left[\frac{\varphi_1}{U_{\Sigma}} \right] \bmod B + C \right] \bmod \Sigma, \quad (2)$$

где A , B и Σ – модули, по которым определяются оценки угла поворота ведомого звена и его номинального значения, а также их разность; C – постоянная величина, которую следует рассматривать как возможную начальную разность текущих значений действительного и номинального углов поворота ведомого звена исследуемой передачи.

Для однозначного соответствия результата измерения исследуемому процессу необходимо выполнение условия [3]:

$$A = B = \Sigma \geq 2(\Delta F_{\max} + |C|), \quad (3)$$

где ΔF_{\max} – абсолютное значение максимально возможной разницы положительных и отрицательных значений $\Delta\varphi_{\Sigma}(\varphi_1)$ для исследуемых передач.

Структурная схема преобразования информации модулем ввода, предварительного преобразования и обработки сигналов от импульсных датчиков при получении сигнала о кинематической погрешности представлена на рис. 1.

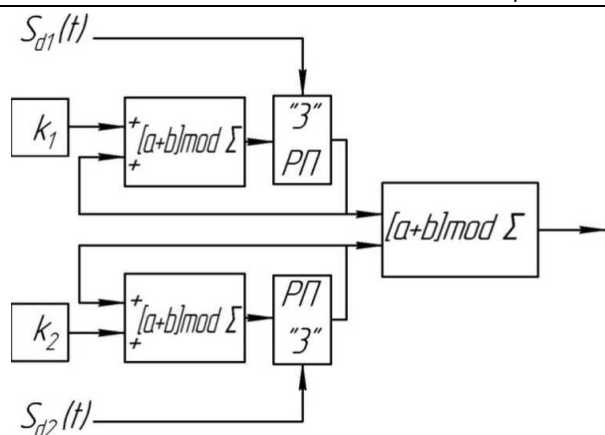


Рис. 1. Структурная схема получения сигнала о кинематической погрешности методом весового суммирования: $[a + b] \text{ mod } \Sigma$ – сумматор по модулю Σ ; PP – регистр памяти; $S_{d1}(t)$ и $S_{d2}(t)$ – сигналы с выходов импульсных преобразователей ведущего и ведомого звеньев исследуемой передачи; «3» – вход управления записью в регистр памяти (PP); K_1, K_2 – импульсы каналов ведущего и ведомого звеньев исследуемой передачи

Существенным при этом является раздельное получение оценок действительного и номинального углов поворота ведомого звена по модулю с последующим их алгебраическим суммированием по тому же самому модулю.

С целью выделения составляющих периодической компоненты кинематической погрешности модулем осуществляется обработка в соответствии с алгоритмом синхронного накопления. Это обеспечивает получение оценки формы периодического сигнала в шуме и позволяет исключить влияние на результат измерения неравномерности вращения привода. При этом из свойств передаточной функции системы, реализующей алгоритм синхронного накопления, следует, что для выполнения указанных требований к процедуре обработки при оценивании формы составляющих периодической компоненты должна осуществляться обработка реализации сигнала измерительной информации в соответствии с соотношением [1]:

$$\left. \begin{aligned} S_{i1}(\varphi) &= (nN_i)^{-1} \sum_{k=0}^{nN_i-1} \Delta\varphi_{\Sigma}(\varphi - k\Phi_i); \\ N_i &= \frac{\Phi_{\Sigma}}{\Phi_i}; n = 1; 2; 3; \dots; 0 \leq \varphi \leq \Phi_i, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $S_{i1}(\varphi)$ – оценка формы составляющей периодической компоненты кинематической погрешности, имеющей период Φ_i в единицах угла поворота ведущего звена; Φ_{Σ} – период полного цикла пересопряжения элементов передачи в единицах угла поворота ведущего звена.

Модуль передаточной функции системы, реализующей алгоритм обработки в соответствии с соотношением (4), на частотах кратных:

$$\Omega = 2\pi\Phi_i^{-1} \quad (5)$$

будет равен единице, а при выполнении условия:

$$\left. \begin{aligned} \omega n N_i \Phi_i (4\pi)^{-l}; \\ l = 1; 2; 3; \dots, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

передаточная функция этой системы обращается в нуль [5].

Важной особенностью модуля является то, что выделение всех составляющих осуществляется параллельно.

При формировании системы отсчета для синхронных процедур обработки, реализуемых измерительно-вычислительным комплексом, функция модуля аналогична функциям следящих умножителей частоты систем синхронной обработки сигналов. При этом решаются следующие основные задачи: синхронизация взятия дискретных отсчетов исследуемых процессов в системе отсчета, связанной с

углом поворота ведущего звена контролируемой цепи передачи; сопоставимость результатов предварительной обработки сигнала о кинематической погрешности, а также процессов, сопровождающих работу исследуемых зубчатых механизмов (например, вибрации, тензонапряжений и т.п.); получение вспомогательной информации, характеризующей режим испытаний исследуемого зубчатого механизма.

По существу модуль по входной информации, а также по сигналу с выхода определяет моменты, в которые необходимо брать отсчеты исследуемого процесса и выдает команду (признак) взятия отсчета. Входной информацией является поступление импульса с высокочастотного выхода импульсного преобразователя угла поворота ведущего звена передачи. При этом импульсы следуют через один оборот ротора преобразователя.

Микропроцессор модуля осуществляет обработку входной информации по алгоритму, передаваемому ему программной системой. При этом алгоритм обработки определяется кинематической схемой исследуемого механизма и его конкретными параметрами (например: типом передачи, числами зубьев зубчатых колес и т.п.), выбранным пользователем режимом предварительной обработки измерительной информации о кинематической погрешности и других процессах, сопровождающих работу исследуемого зубчатого механизма, например: вибрации, тензонапряжения и т.п.

При исследовании кинематической погрешности программные средства позволяют выполнять следующие операции: просмотр исходного сигнала; просмотр амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) исходного сигнала; проводить синтез «исходного сигнала» из любого числа составляющих АЧХ по усмотрению исследователя; выполнять дополнительные процедуры при обработке исходного сигнала (например, вычислять интеграл, первую или вторую производную, фазу, огибающую).

Заключение. Измерительно-вычислительный комплекс, функционирующий с использованием отмеченных принципов, может использоваться при диагностике технического состояния зубчатых передач, как при научных исследованиях, так и в условиях производства при контроле стабильности технологического процесса, при отработке конструкций или их модернизации. В перспективе он может использоваться: при выборе рациональных параметров зубчатых профилей; обосновании необходимой точности зубчатых колес на рабочих режимах нагружения с целью обеспечения на них минимальной динамической нагруженности элементов передачи; автоматизированной разбраковке зубчатых колес по точности при их производстве; автоматического сбора, накопления и анализа информации о контролируемом объекте и выдаче заключения о возможности его дальнейшей эксплуатации.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Василенко, В.Г. Аппаратурные средства для исследования погрешностей взаимодействия зубчатых передач. – Труды ЦИАМ №1059. Повышение несущей способности и диагностика зубчатых передач и редукторов. – М., 1983.
2. Василенко, В.Г. Методы и приборы измерения кинематической погрешности для испытания и контроля силовых зубчатых передач. Диссерт. канд. техн. наук. – Минск, Институт прикладной физики АНБ, 1995.
3. Василенко, В.Г. Об ограничениях динамического диапазона при контроле кинематической погрешности с использованием импульсных преобразователей угла поворота / В.Г. Василенко, В.И. Микулович, Н.Н. Скриган – №5: Метрология, 1983.
4. Ионак, В.Ф. Приборы кинематического контроля. – М.: Машиностроение, 1981. – 128 с.
5. Берестнев, О.В. Создание микропроцессорного комплекса для диагностики технических систем: в 2 ч. / О.В. Берестнев, И.В. Жук, А.С. Скороходов, Я.О. Берестнев, В.Г. Василенко, А.Н. Неделькин, И.А. Мирошниченко / Институт надежности машин АН Беларуси. – Минск, 1996. – Ч.1. – 64 с.

Материал поступил в редакцию 01.11.10

MIROSHNICHENKO I.A. Processing of entrance signals a method of weight summation at diagnostics of a technical condition of Mashines and mechanisms

Complex undisassemble the estimation of a technical condition of machines and mechanisms both at design stages and manufacturing, and at operation phases and repair considerably reduces material and labor expenses for maintenance service and equipment repair, provides its accident-free operation.

In article the method of weight summation is considered at processing of entrance signals from pulse gauges. Thus the signal about a kinematic error is formed as a result of estimations of angles of rotation of initial and final links of controllable transfer with their subsequent weight algebraic summation.

УДК 621.81.004.67(075)

Кастрюк А.П., Иванов В.П.

ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ НА СТАДИИ ПОДГОТОВКИ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Введение. Эффективность ремонта техники обусловлена содержанием и объемом подготовительных работ, которые предшествуют текущему производству. Объемы подготовки ремонтного производства велики. Силами его вспомогательного производства, например, при освоении ремонта двигателя новой модели, создают 50–300 единиц оборудования, которым почти полностью оснащены разборочно-очистной, комплектовочно-сборочный, окрасочный и испытательный участки. Несколько тысяч приспособлений расширяют технологические возможности приобретенного оборудования. Многие операции оснащены контрольно-измерительными средствами. Трудоемкость изготовления средств технологического оснащения (СТО) составляет 100–350 тыс. чел.-ч., что соответствует более чем полугодовому объему трудоемкости основного производства.

Подготовительные работы связаны с принятием технических решений, на основе которых создают рабочие места с комплексом СТО. На рабочих местах будут выполняться отдельные технологические операции. Техническое решение – это процедура построения оптимальной структуры объекта или процесса. В качестве объекта выступает СТО, а в качестве процесса – технологическая (ий) операция (процесс). Время предстоящего использования технического решения соответствует амортизационному сроку службы оборудования – 6–10 лет.

Необходимость выполнения настоящей работы обусловлена большим объемом работ по подготовке производства и их влиянием на надежность отремонтированных машин и агрегатов.

Цель работы заключалась в уменьшении сроков и затрат на подготовку ремонтного производства путем совершенствования процедуры выбора наилучшего варианта технического решения.

Оценочные критерии при выборе технического решения определены техническими и экономическими показателями объектов или процессов. Основные из этих критериев – показатели назначения, надежность и экономическая эффективность. При этом показатели назначения и надежности выступают в качестве ограничений (они должны быть обеспечены неукоснительно), а экономические – выступают в качестве параметров оптимизации (они должны быть минимальными или максимальными по смыслу). Таким образом, технические решения, касающиеся создания средств и процессов ремонта на стадии подготовки производства, связаны с выполнением заданной функции с последующим обеспечением нормативных безотказности и долговечности отремонтированных изделий с наименьшими затратами труда, материалов и энергии.

Основная характеристика СТО – выполняемые ими функции. В то же время этими функциями описываются технологический процесс, операция или ее часть. Это обуславливает общность подходов, с помощью которых описывают варианты их структур и находят лучшую структуру.

Постановка задачи. Задачу выбора технического решения применительно к восстановлению деталей впервые поставил и решил проф. Шадричев В.А. [1]. В дальнейшем эта задача уточнялась и решалась различными авторами, например [2]. Восстановление деталей – технологический процесс возвращения им материала вместо изношенного и доведения до нормативных значений их геометрических параметров и эксплуатационных свойств [3]. К геометрическим параметрам детали относят взаимное расположение, форму, размеры и шероховатость ее рабочих поверхностей, а к эксплуатационным свойствам – износостойкость трущихся поверхностей, статическую и циклическую (усталостную) прочность и жесткость детали, ее массу и распределение массы относительно осей вращения и инерции, коррозионную стойкость. Процесс восстановления детали в технологической последовательности приведен на рис. 1.

Выбор наилучшего технологического процесса основан на представлении различных сочетаний операций, составляющих этот процесс (число сочетаний операций может измеряться тысячами), с поиском оптимального варианта с помощью процедур математического программирования. Долговечность деталей, принятая в качестве ограничения при разработке процесса их восстановления, в основном определяется эксплуатационными свойствами. Оценочный критерий (параметр оптимизации) процесса – стоимость подготовки процесса и текущие затраты, отнесенные к восстановлению одной детали.

Постановка задачи структурного синтеза устройства – из числа существенных его признаков образовать структуру, обеспечивающую выполнение заданной технологической функции с наименьшими затратами, приведенными к одному технологическому переходу или одной технологической операции над ремонтируемым объектом. Существенные признаки устройства – это составляющие его элементарные механизмы, их связи и отношения между собой.

Модель решения. Стремление повысить эффективность решения поставленных задач обусловило разработку графовых моделей технических решений и их оптимизацию.

Различные сочетания операций, образующих технологический процесс, например, восстановления детали, выбирают из графа (рис. 2), составленного из вершин и дуг. Каждый горизонтальный ряд вершин графа – это i -е подмножество однотипных технологических операций ($i = 1...K$). Операция первого типа представлена m_1 ее видами, операция второго типа – m_2 ее видами и т.д., а операция K -го типа (нижняя строка графа) – m_k ее видами. Так, например, операция типа «создание припуска на обработку» при восстановлении детали может быть представлена такими видами: наплавка, напыление, химическое или электрохимическое нанесение и др. [4–5]. Виды технологических операций выбираются из учебников и справочников, а также из логических и эвристических представлений о различных способах преобразования энергии и вещества, использования новых материалов и различных физических эффектов. В граф

Кастрюк Александр Петрович, к.т.н., доцент, первый проректор Полоцкого государственного университета.

Иванов Владимир Петрович, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» Полоцкого государственного университета.

Беларусь, 211440, Витебской обл., г. Новополоцк, ул. Блохина, 29.