

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ПРОЦЕССОВ НА АВТОМОБИЛЕСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Макарова И.В., Беляев Э.И., Димеев А.Г.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Набережные Челны, Россия (423812, г. Набережные Челны, пр. Сююмбике, 10А), e-mail: kamIVM@mail.ru

В статье приводится разработанная практическая методика, позволяющая совершенствовать процессы в производственных системах автомобилестроительных предприятий. Методика направлена на оптимизацию функционирования технологического оборудования путем совершенствования системы его обслуживания. Предложенная методика основана на использовании системы поддержки принятия решений, позволяющей принимать научно обоснованные управленческие решения при изменении параметров производственной системы, определяемых путем мониторинга параметров технологического процесса, контроля качества производимой продукции, анализе причин простоев. В качестве интеллектуального ядра разрабатываемой системы предложено использование имитационной модели. Для проверки адекватности предлагаемого решения приводится пример использования разработанной модели технологического процесса изготовления ведомой (ведущей) шестерни на роботизированном производственном участке. Практическое применение модели позволяет сократить инвестиции в оборудование и производственную инфраструктуру, а также существенно улучшить производственные показатели за счет подбора оптимальных параметров системы.

Ключевые слова: общая эффективность оборудования, имитационная модель, технологический процесс.

APPLICATION OF SIMULATION MODELLING FOR STEERING OF PROCESSES EFFICIENCY AT THE AUTOMOBILE BUILDING ENTERPRISE

Makarova I.V., Belyaev E.I., Dimeev A.G.

Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia (423812, Naberezhnye Chelny, pr. Syuyumbike, 10A), e-mail: kamIVM@mail.ru

In the article given developed practical technique, allowing to improve processes in production systems of the automobile building enterprises. The technique is directed on optimization of processing equipment functioning by improvement of its service system. The offered technique is based on use of the decision-making support system, allowing to make scientific and reasonable administrative decisions at change of the production system parameters determined by monitoring of technological process parameters, quality control of made production, the analysis of idle times reasons. As an intellectual core of developed system use of simulation model is offered. For check of the proposed solution adequacy the example of pinion gear conducted (leader) production technological process developed model use on the robotized production site is given. Practical application of model allows to reduce investments into the equipment and production infrastructure, and also it is essential to improve operational performance due to selection of system optimum parameters.

Keywords: overall effectiveness of the equipment, simulation model, technological process.

Рост конкуренции на рынках высокотехнологичной продукции и глобализация экономики вынуждают автомобилестроительные компании к поиску методов и средств оптимизации процессов на всех этапах жизненного цикла продукции. Конкурентоспособность конечного продукта определяется не только качеством проектных решений, но во многом зависит и от качества организации технологических процессов. Поскольку производственное предприятие можно отнести к классу больших систем, то качество производственных процессов определяется не только способами выполнения технологических операций и выбором применяемых технологических решений, но и устойчивостью связей между подсистемами и качеством их взаимодействия. Управление в

таких системах должно быть реализовано по принципу «обратной связи», что требует, в свою очередь, наличия инструментов для получения, хранения и анализа оперативной и адекватной информации о состоянии системы и ее подсистем. Поиск оптимальных решений по управлению такими системами изначально основывается на анализе поведения модельных систем. Наиболее перспективным способом таких исследований является имитационное моделирование.

Одним из важнейших условий успешной работы любого промышленного предприятия является бесперебойная работа оборудования, поэтому при моделировании технологических процессов в качестве целевой функции можно использовать показатели, характеризующие качество его использования. При этом следует учитывать не только фактическое время использования станка и его производительность, но и долю изделий без дефектов в общем объеме выпущенной продукции.

Для количественной оценки эффективности технологического процесса используют показатель общей эффективности оборудования (англ. Overall Equipment Effectiveness – ОЕЕ) [7-9]. Это распространённая система анализа общей эффективности работы оборудования, предназначенная для контроля и повышения эффективности производства и основанная на измерении и обработке конкретных производственных показателей. Инструментарий ОЕЕ широко используется в качестве ключевых показателей эффективности (KPI), что в сочетании с технологиями бережливого производства позволяет предприятию быстрее добиться успеха. Хотя метод ОЕЕ-анализа применяется уже давно, однако многочисленные исследования в данной области посвящены оценке адекватности применения стандартной его модификации.

ОЕЕ отдельной единицы производственного оборудования при многопродуктовом выпуске определяется по формуле:

$$ОЕЕ = K_{вр} \times K_{пр} \times K_{кач} = \frac{\Phi_{вр} - Пр}{\Phi_{вр}} \times \frac{\sum_i [T_i \times Выр_i]}{\Phi_{вр} - Пр} \times \frac{\sum_i [T_i \times (Выр_i - Б_i)]}{\sum_i [T_i \times Выр_i]},$$

где: $K_{вр}$ – коэффициент времени (готовности, доступности);

$K_{пр}$ – коэффициент производительности;

$K_{кач}$ – коэффициент качества;

$\Phi_{вр}$ – фонд времени работы оборудования (длительность смены, иногда принимают 24 часа в сутки);

Пр – простои, в том числе и плановые (обеда, регламентированные перерывы, планово-предупредительные ремонты, наладка и т.д.);

i – количество продуктов, производимых на данной единице оборудования;

T_i – такт выпуска i -го продукта;

$Выр_i$ – всего изготовлено i -го продукта в течение $\Phi_{вр}$;

$Б_i$ – количество брака i -го продукта, изготовленного в течение $\Phi_{вр}$;

$(\Phi_{вр} - Пр)$ – время, имеющееся для выпуска продукции на данной единице оборудования;

$\Sigma_i [T_i \times Выр_i]$ – время, потраченное на производство продукции;

$\Sigma_i [T_i \times (Выр_i - Б_i)]$ – время, потраченное на производство годной продукции.

Этот показатель максимально полно отражает состояние оборудования и дает представление не только о темпе выпуска продукции, но и о потерях, вызванных неполадками в работе оборудования или низким уровнем качества продукции, поскольку факторы ОЕЕ включают в себя три критерия эффективности: доступность (Availability, A), производительность (Performance, P), качество (Quality, Q).

Разница между общим временем работы предприятия (Plant Operating Time, POT) и временем плановых остановок (Planned Shut Down, PSD) - планируемое производственное время (Planned Production Time, PPT): $PPT = POT - PSD$.

С помощью ОЕЕ анализируются потери времени с целью их уменьшения или устранения. При этом учитывают три основные категории потерь: потери на остановки (Down Time Loss, DTL), потери в скорости (Speed Loss, SL) и потери в качестве (Quality Loss, QL). С помощью *критерия доступности* анализируются потери на остановки (DTL), включающие в себя любые внеплановые остановки, в том числе вследствие поломок и отказов оборудования, из-за дефицита сырья или отсутствия места для складирования. Время переходов также входит в ОЕЕ-анализ, поскольку оно является одной из форм простоев, которые невозможно устранить, но в большинстве случаев можно сократить. Для учета потерь в скорости (SL) применяют *критерий производительности*. При этом учитывают все факторы, вызывающие снижение рабочей скорости оборудования по сравнению с максимально возможной, такие как износ машин, использование некачественных материалов, неправильная подача, неэффективные действия оператора. *Критерий качества* учитывает потери в качестве (QL), которые включают в себя производство несоответствующей стандартам продукции. При этом рабочее время, оставшееся после учёта потерь в качестве, называется чистым производительным временем.

Поскольку процессы в больших системах характеризуются значительным числом стохастических показателей, необходимо решать вопрос об адекватности исходной информации, а также о методах ее учета и анализа. В этом случае наиболее эффективным на сегодняшний день является применение систем поддержки принятия решений (СППР), в которых присутствуют модули сбора и хранения информации, ее анализа и выработки рекомендаций. СППР обладают средствами предоставления пользователю агрегатных данных для различных выборок из исходного набора в удобном для восприятия и анализа

виде. Агрегатные функции образуют многомерный набор данных (гиперкуб или метакуб), благодаря чему пользователи могут формулировать сложные запросы, генерировать отчеты, получать подмножества данных.

Техника реализации включает различные патентованные идеи: разновидности архитектуры «клиент-сервер», анализ временных рядов, объектная ориентация, оптимизация хранения данных, параллельные процессы и т.д. Различаются области применения такой технологии. Так, статья [2] посвящена разработке компьютеризированной системы управления техническим обслуживанием, предназначенной для анализа решений, позволяющих выявить причины сбоев в системе, с учетом различных критериев, таких как время и частота простоев, наличие запасных частей и других. Описанные технологии реализуются в виде СППР для управления качеством [4; 6], а также для управления производственными системами и процессами на всех этапах жизненного цикла продукции [5]. Концептуальная схема СППР для оценки эффективности и управления оборудованием приведена на рис. 1.

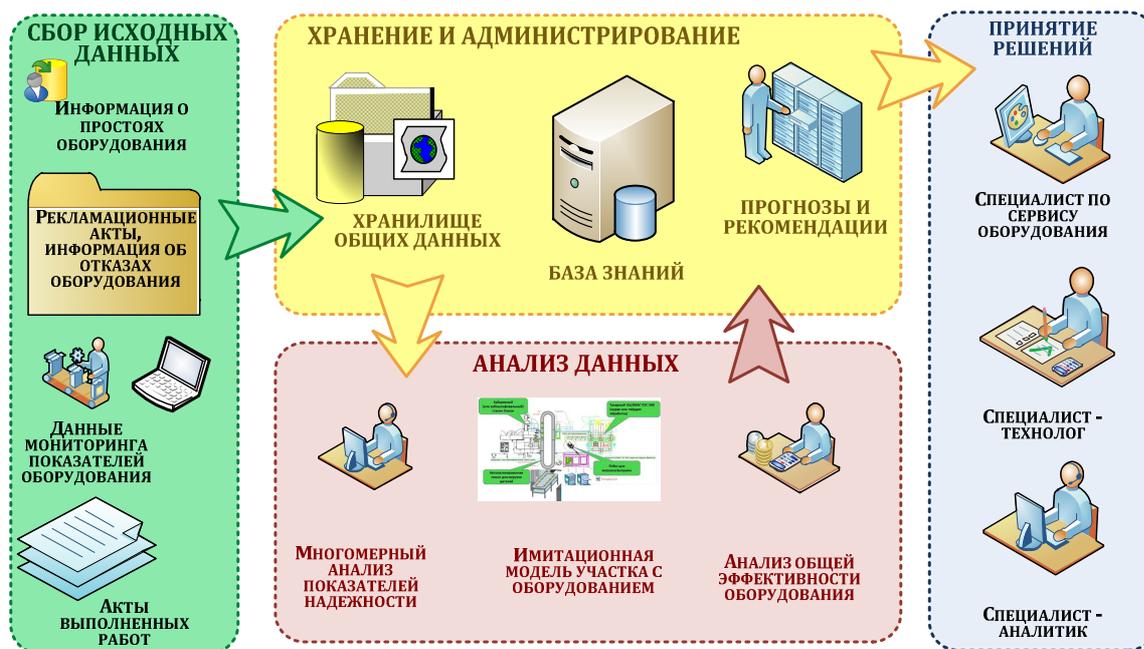


Рис. 1. Концептуальная схема СППР

Надежная работа оборудования базируется на информации о его отказах, внеплановых остановках и сбоях, зафиксированной в рекламационных актах и хранящейся в базах данных. Анализ такой информации позволяет выявлять причины возникновения нештатных ситуаций и предупреждать их.

Для анализа эффективности работы оборудования необходим постоянный мониторинг показателей его производительности и качества изделий, который позволяет своевременно определять критические состояния системы и планировать периодичность обслуживания оборудования. Как правило, для сбора информации о работе

производственного оборудования применяют модули мониторинга технологических процессов, которые включают в себя пакет сбора, оценки и визуализации данных, относящихся к конкретному станку (форма сбора и анализа данных о работе станочного парка изображена на рис. 2) [1]. Целями мониторинга являются:

- контроль над соблюдением технологии изготовления детали;
- мониторинг параметров технологического процесса обработки детали;
- оценка качества обработки и запись данных измерений;
- получение точных данных о причинах и нарушениях технологии изготовления.

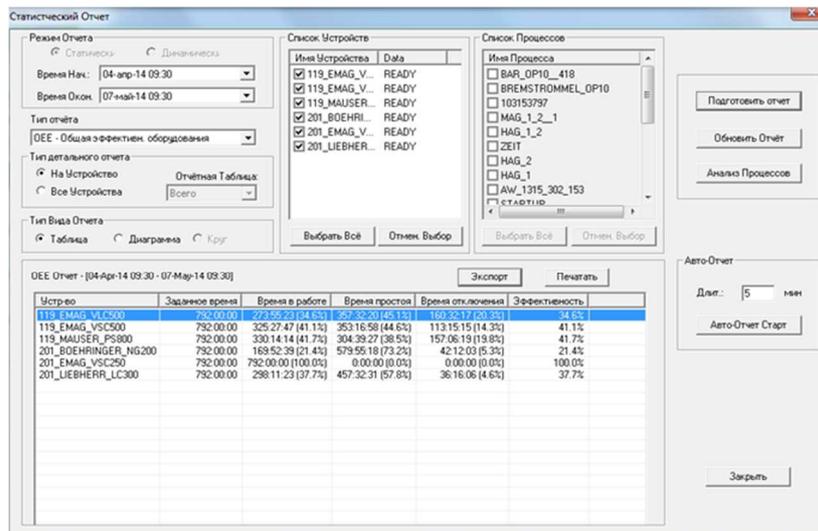


Рис. 2. Программный модуль для сбора данных

В качестве интеллектуального ядра СППР можно использовать имитационную модель, поскольку это позволяет проводить многократный оперативный анализ производственной ситуации при изменяющихся внешних условиях и параметрах самого процесса (рис. 3). Для построения имитационной модели использовалась среда моделирования Plant Simulation, в которой предусмотрена возможность использования визуального проектирования - построения с помощью графических объектов и пиктограмм иерархий структуры и поведения активных объектов.

Преимуществом построения модели в Plant Simulation является возможность использования стандартной или расширенной библиотеки объектов, каждый из которых уже обладает встроенной логикой, набором параметров и диалоговым интерфейсом, что позволяет для некоторых типов систем максимально упростить процесс построения их моделей, исключив необходимость какого-либо программирования.

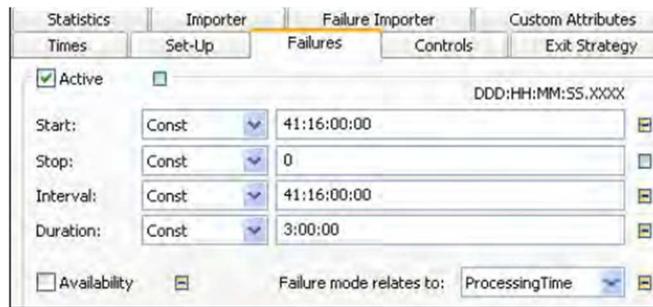


Рис. 3. Интерактивная форма для задания параметров модели

Эта возможность ускоряет процесс моделирования, и в то же время, если правила работы реальной системы сложны и не могут быть описаны элементарными параметрами, Plant Simulation дает возможность проектировщику создать пользовательский обработчик на встроенном языке программирования SimTalk, который реализует более сложную логику поведения для каждого нестандартного объекта и события в модели (начало операции, конец операции, подход к датчику на конвейере и др.).

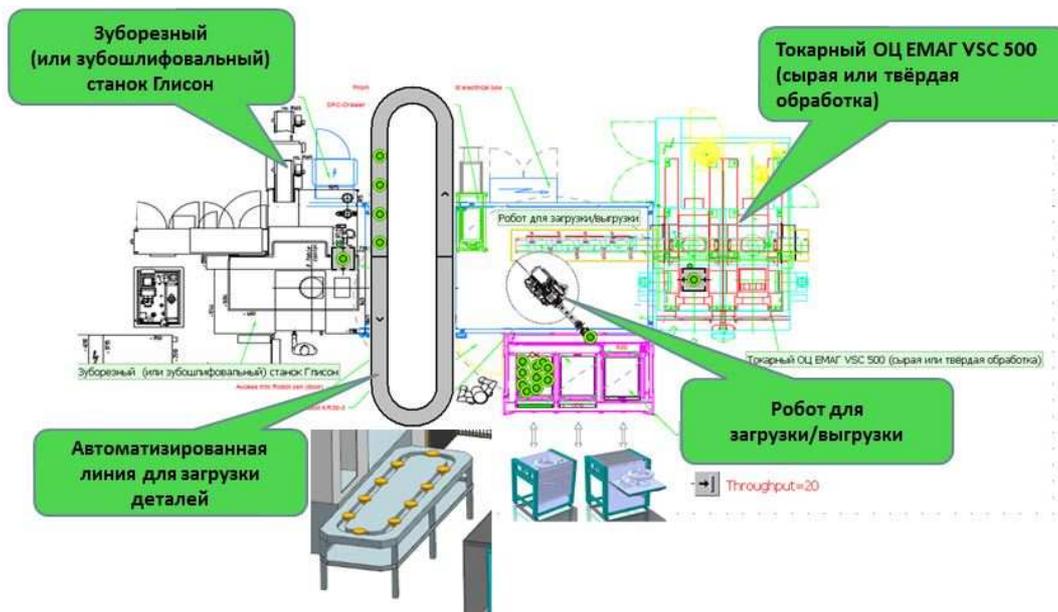


Рис. 4. Имитационная модель с транспортной системой

Для проверки адекватности предложенного решения была разработана модель симуляции процесса обработки спирально-конических и гипоидных шестерён. Модель имитирует технологический процесс изготовления ведомой (ведущей) шестерни на роботизированном производственном участке. Роботизированный комплект состоит из:

- одношпиндельного обрабатывающего центра VSC 500;
- станка с ЧПУ для нарезания методом зуботочения Gleason 300PS;
- автоматической системы «ПРОМОТ» загрузки/разгрузки заготовок деталей;
- робота для загрузки/выгрузки.

Заготовки поступают на автоматическую систему «ПРОМОТ», откуда помощью робота передаются на токарный станок EMAG VSC 500. После обработки робот переносит

деталь на зуборезный станок Gleason 300PS, где по завершении цикла обработки робот транспортирует уже готовую деталь на систему «ПРОМОТ» для выгрузки (рис. 4).

Для демонстрации последовательности операций технологического процесса, а также исследования поведения системы в нестандартных ситуациях (при критических нагрузках, авариях и т.п.) строится 3D-модель системы, которая может применяться в качестве обучающей для демонстрации принципов работы системы (рис. 5).

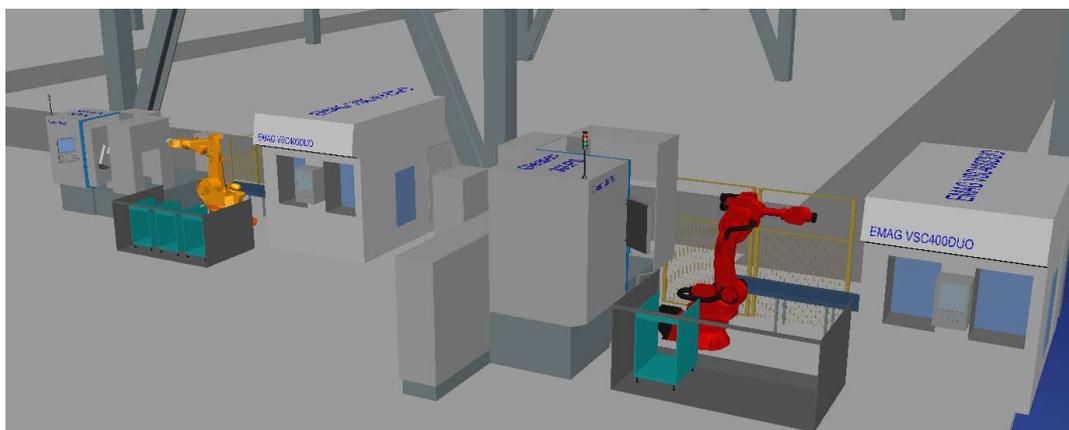


Рис. 5. 3D-модель роботизированного комплекса

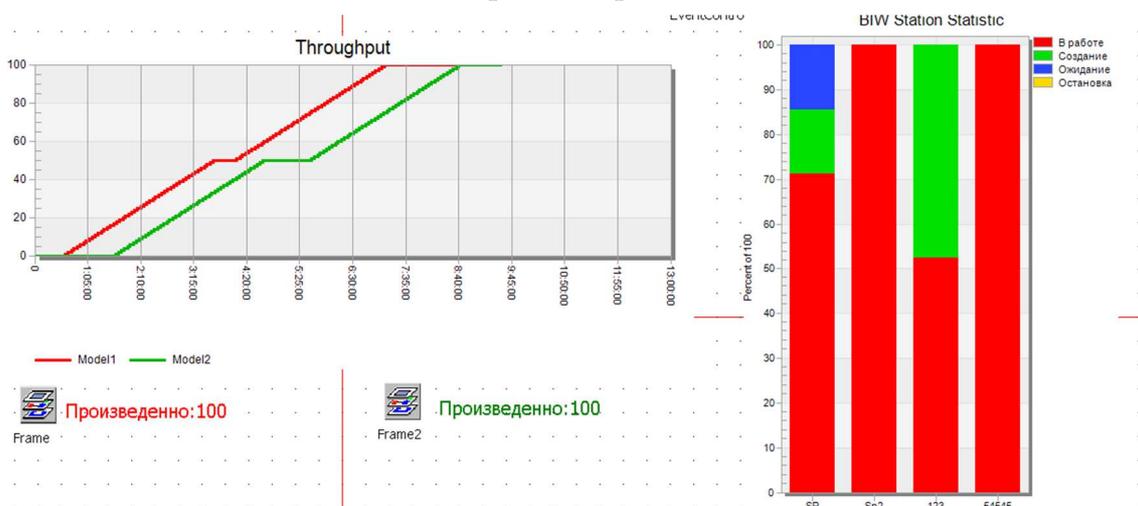


Рис. 6. Диаграммы показателей

Помимо указанных преимуществ модель позволяет выполнить сравнение реализации технологического процесса на существующем оборудовании с модернизированным технологическим процессом в случае необходимости замены оборудования и выбрать наиболее подходящий вариант модернизации. Так, на рис. 6 приведена диаграмма показателей для модели с транспортной системой, приведенной на рис. 4 (на диаграмме – модель 2), и для варианта этой же модели без транспортной системы (на диаграмме – модель 1). Практическое применение модели позволяет сократить инвестиции в оборудование и производственную инфраструктуру, а также существенно улучшить производственные показатели за счет подбора оптимальных параметров системы [3].

Список литературы

1. Общая эффективность оборудования / пер. с англ. - Институт комплексных стратегических исследований, 2007. - 120 с.
2. Ashraf W. Labib. World-class maintenance using a computerised maintenance management system // Journal of Quality in Maintenance Engineering. - Vol. 4. - Iss: 1. - P. 66-75.
3. Bangsow Steffen. Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk. 2010. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
4. Deslandres, V., Pierreval, H. Knowledge acquisition issues in the design of decision support systems in quality control // European Journal of Operational Research. – Vol. 103. - Issue 2, 1 December 1997. - Pages 296-311.
5. Kusiak Andrew, Smith Matthew. Data mining in design of products and production systems // Annual Reviews in Control 31 (2007) 147–156.
6. Lau H.C.W., Hoa G.T.S., Chu K.F., Hob William, Lee C.K.M.. Development of an intelligent quality management system using fuzzy association rules // Expert Systems with Applications 36 (2009) 1801–1815.
7. Muchiri P.& Pintelon L. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion // International Journal of Production Research. - 2008. - Vol. 46. - Iss. 13. - P. 3517-3535.
8. Wudhikarn R. Improving overall equipment cost loss adding cost of quality // International Journal of Production Research. - 2012. - Vol. 50. - Iss. 12. - P. 3434-3449.
9. Zammori Fr.; Braglia M. & Frosolini M. Stochastic overall equipment effectiveness. / International Journal of Production Research. – 2011. - Vol. 49. - Iss. 21. - P. 6469-6490.

Рецензенты:

Хабибуллин Р.Г., д.т.н., заведующий автомобильным отделением Набережночелнинского института Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Набережные Челны.

Кулаков А.Т., д.т.н., заведующий кафедрой эксплуатации автомобильного транспорта Набережночелнинского института Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Набережные Челны.