

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА В РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Н.М. ПУЗЫРЕВ, канд. техн. наук, Д.В. МАРТЫНОВ, канд. техн. наук,
Н.Б. БАРБАШИНОВА, доцент

Тверской государственный технический университет, 170026, Тверь,
наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: puzurevfdpo@rambler.ru

© Пузырев Н.М., Мартынов Д.В., Барбашинова Н.Б., 2021

При решении задач, направленных на повышение уровня производственной безопасности в эргатических системах, приходится учитывать достаточно большое количество факторов, образующих сложную взаимосвязанную структуру. Для решения такого вида задач предлагается и обосновывается возможность использования различных методов системного анализа. Морфологический метод анализа сложных систем можно считать наиболее эффективным способом, который позволяет учитывать большое количество исходных параметров. В качестве примера рассмотрено решение задачи по снижению уровня звукового давления до нормативного уровня в производственном помещении. Предложен пример расчета критерия соответствия нормативному уровню безопасности при решении задачи снижения уровня звукового воздействия на персонал.

Ключевые слова: системный анализ, морфологический метод, производственная безопасность.

DOI: 10.46573/2658-5030-2021-1-102-110

ВВЕДЕНИЕ

Опасные инциденты на производственных объектах, электростанциях, в космической отрасли и других сферах человеческой деятельности, происходившие в последние десятилетия, потребовали серьезных теоретических исследований, создания количественных методов анализа и оценки уровня безопасности, основанных на построении структурных схем надежности, разработки методик обеспечения безопасности для предотвращения техногенных и иных катастроф и происшествий. В настоящее время назрела необходимость проведения дальнейших исследований в этой области и систематизации уже известных результатов для совершенствования системы обеспечения и управления безопасностью во всех отраслях промышленного производства, в том числе в металлообработке, строительстве, энергетике. Наличие теоретических, методологических разработок и созданных на их основе инженерных методов позволяет разработать меры по обеспечению безопасности еще на этапе их проектирования промышленных технологий, а также при анализе существующих технологий и средств производства.

При решении таких задач приходится учитывать достаточно большое количество элементов, факторов, условий, ограничений, составляющих сложную взаимосвязанную структуру обеспечения должного уровня безопасности, без системного анализа которой невозможно достичь требуемого результата. Системный анализ как научный метод познания представляет собой последовательность действий по установлению структурных связей между элементами исследуемых сложных

систем, в том числе таких, которые помогут обеспечить требуемый, достаточный уровень безопасности технических устройств, технологических процессов, безопасность персонала, как при их проектировании, так и в процессе эксплуатации [1]. Системный анализ включает в себя совокупность методологических средств, используемых для подготовки и обоснования решений по проблемам производственной безопасности, под которой здесь понимается отсутствие недопустимого риска, связанного с причинением вреда жизни или здоровью персонала и (или) окружающей среде.

В решении практических задач производственной безопасности можно применять различные методы системного анализа. *Метод экспертных оценок* характерен тем, что в процессе принятия решений выбор факторов, параметров, от которых зависит уровень безопасности, приходится осуществлять в условиях неопределенности в связи с наличием показателей, не поддающихся строгой количественной оценке. В этом случае все процедуры и методы направлены на поиск альтернативных вариантов решения проблемы, выявление масштабов неопределенности по каждому из вариантов и их сопоставление по тем или иным критериям эффективности. Для этого эксперты, специалисты готовят или рекомендуют варианты решения, руководствуясь совокупностью имеющихся элементов системы и их связей. При этом количественные показатели, параметры отдельных элементов, входящих в систему, их граничные условия принимаются на основе экспериментальных или лабораторных исследований процесса либо используются уже известные параметры аналогичных систем, средств индивидуальной и коллективной защиты от опасных и вредных производственных факторов. Принятие окончательных вариантов решения поставленной задачи остается в компетенции соответствующего эксперта, должностного лица или нескольких ответственных лиц. Однако это нередко представляется затруднительным, так как перечень вариантов решений может быть достаточно обширным. В таких случаях необходимо применить метод систематического исследования всех возможных вариантов анализируемого объекта, вытекающих из закономерностей его строения (т.е. морфологии).

В основе *морфологического метода* системного анализа лежит упорядочение процесса выдвижения и рассмотрения различных вариантов решения задачи [2]. Основной идеей метода является создание системности, упорядоченности в поиске наибольшего числа возможных вариантов решения поставленной проблемы путем комбинирования основных структурных элементов системы или их признаков [3, 4].

Суть метода состоит в том, что в системе выделяют несколько значимых признаков (структурных или функциональных). Каждый из них может характеризовать какой-либо параметр или свойство системы, от которых зависит решение проблемы. По каждому выделенному признаку составляют перечень его различных вариантов-альтернатив. Признаки с альтернативами располагают в таблицу – «морфологический ящик» или составляют матрицу. Перебирая всевозможные сочетания этих альтернатив, можно выявить новые варианты решения поставленной задачи.

Морфологический метод системного анализа сложных систем можно считать наиболее эффективным способом решения задач, в которых приходится учитывать множество исходных параметров. Он применим и в случаях, когда нужно получить нетрадиционные, оригинальные решения.

Идеи современного морфологического метода были впервые опробованы в XIII веке монахом Раймундом Луллием, создателем так называемой «логической машины», заложившим основы комбинаторики. Вторую жизнь методу дал Фриц Цвикки – известный швейцарский астрофизик, работавший в США в середине XX века. Используя свой метод, Ф. Цвикки смог генерировать внушительное количество оригинальных решений для задач ракетостроения. Название метода – «морфологический» – иногда заменяют термином «метод Цвикки». В настоящее время морфологический метод широко применяется в различных областях производственной деятельности. Отдельным его направлением является теория решения изобретательских задач (ТРИЗ Г.С. Альтшуллера).

ЦЕЛИ И МЕТОДЫ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Морфологический метод, основной идеей которого является упорядочение процесса выдвижения и рассмотрения различных вариантов решения практических, прикладных задач, предлагается использовать, в частности, применительно к техническим системам при решении таких проблем, как проектирование, создание или анализ способов, технологий, устройств по обеспечению или повышению уровня безопасности в сфере производства.

Основными преимуществами морфологического метода анализа считаются равноценность всех элементов анализируемого объекта, максимальная четкость формулировки поставленной задачи, снятие ограничений в анализе элементов исследуемого объекта, возможность получения новых и (или) развития уже имеющихся идей.

Рассмотрим такую важную в производственной сфере задачу, как снижение уровня звукового давления (уровня шума) на производственном участке металлообработки, приведение уровня шума к установленным нормам. Под шумом понимают любой звук, который может вызвать снижение остроты или потерю слуха, быть вредным для здоровья. Воздействие шумового фактора на человека зависит от его интенсивности, спектрального состава, временных характеристик и продолжительности действия. Измерение и гигиеническая оценка шума, а также профилактические мероприятия проводятся в соответствии с руководством Р 2.2.4/2.1.8-96 «Гигиеническая оценка физических факторов производственной и окружающей среды». В число нормативных документов входят также Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки», утвержденные Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г. № 36. Они устанавливают предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах с учетом напряженности и тяжести трудовой деятельности не более 80 дБ. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности» устанавливает принципы обеспечения безопасности и сохранения здоровья работников при воздействии на них шума в нормальных условиях рабочего процесса и общие требования к оценке этого воздействия.

Согласно ГОСТ 12.1.029-80 «ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация» для снижения уровня шума могут применяться такие основные методы коллективной защиты, как уменьшение шума в источнике его возникновения, изменение направленности излучения звука, рациональная планировка предприятия, цеха, участка, рабочего места, акустическая обработка помещений, уменьшение шума

на пути его распространения. ГОСТ 31287-2005. «Шум. Руководство по снижению шума в рабочих помещениях акустическими экранами» устанавливает акустические и эксплуатационные требования, которые должны быть согласованы между поставщиком/изготовителем и потребителем акустических экранов.

Для защиты работников от шума используются средства индивидуальной защиты в соответствии с такими нормативными документами, как ГОСТ Р ЕН 13819-2-2011 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Акустические методы испытаний», ГОСТ 12.4.051-87 «ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов слуха. Общие технические условия и методы испытаний» и др.

Суть морфологического метода заключается в том, что сначала выделяют ряд характерных морфологических признаков (вариантов) рассматриваемой технической системы. Причем решения проблемы безопасности требует комплексного подхода с учетом экономических затрат, экологических, эргономических и прочих показателей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При решении задачи снижения уровня звукового воздействия на рабочем месте, например станочника, сварщика, элементами системы, характеризующими условия труда в совокупности их связей, являются:

нормативно-правовая документация, регламентирующая допустимые уровни звукового давления на рабочем месте: предельные уровни шума (для постоянных шумов), уровни звука в дБА, которые используются для ориентировочной оценки постоянного и непостоянного шума без учета частотных характеристик;

источники звукового давления – оборудование, рабочие инструменты, отражательные поверхности конструкций цеха (стен, потолков, перегородок), резонирующие поверхности обрабатываемых конструкций;

количественные характеристики шума, звукового давления – спектральные характеристики шума, уровень шума;

способы защиты – шумопоглощение, шумоизоляция, защита расстоянием и др.;

устройства защиты – специальные шумопоглощающие экраны, покрытия пола, стен, потолка, перегородок, шумоизолирующие экраны;

средства индивидуальной защиты (наушники, звукопоглощающие шлемы, спецодежда);

замена, модернизация технологического процесса, оборудования;

организационные мероприятия – сокращение длительности воздействия звукового давления на организм работающего (перерывы в работе, сокращенный рабочий день);

показатели экономической эффективности принимаемых решений;

показатели эргономичности, экологической безопасности и др.

С учетом каждого из элементов системы составляется перечень возможных вариантов (альтернатив) решения поставленной задачи. Далее все альтернативные варианты перебирают, составляя из них различные возможные сочетания. Таким образом, формулируются новые варианты решения задачи. При этом расчет строится на том, что в поле зрения могут попасть варианты, которые ранее не рассматривались. Признаки располагают в форме таблицы, которую называют «морфологическим

ящиком», матрицей. Ее можно назвать также поисковым полем. Таким образом, по своей сути морфологический метод обеспечивает системный подход в области творческого решения прикладных задач.

Морфологический метод решения задачи включает следующие этапы:

выделение всех значимых для каждого из вариантов решения задачи параметров (факторов);

оценивание ранга и шкалы для каждого из параметров;

проведение экспертной оценки в баллах или других оценочных параметрах значимости каждого из факторов в пределах выбранной шкалы;

сложение величин экспертных оценок по всем параметрам и определение по сумме баллов наиболее подходящего варианта.

Недостатком метода является то, что при рассмотрении возможных альтернатив решения поставленной задачи перечень которых может быть достаточно обширным, возможны трудности с выбором оптимального варианта.

Для сложных объектов, имеющих большое число элементов, морфологическая таблица (матрица) может быть достаточно громоздкой (например, в виде трехмерной матрицы). При этом возникает необходимость рассмотрения большого числа вариантов, часть которых оказывается лишённой практического смысла, что повышает трудоемкость метода. Применение его рационально для несложных объектов и в тех случаях, когда возможно найти новую идею за счет оптимальной комбинации известных решений. В более сложных случаях целесообразно использовать математические методы решения матричных уравнений.

В качестве примера рассмотрим решение задачи по снижению уровня звукового давления до нормативного уровня в производственном помещении. Для этого формулируем возможные варианты решения: шумоизоляция, шумопоглощение, перепланировка помещения, акустическая обработка помещения. Этот перечень далеко не полный, его можно продолжать. Рассмотрим конструктивные варианты решения, т.е. материалы, виды конструкций, места их размещения или установки. В их числе могут быть шумоизоляционные панели, минеральная вата, шумоизоляционная или шумопоглощающая мастика, а также воздушная прослойка, а также другие материалы и устройства. При этом шумоизоляционные панели, так же, как и разновидности минеральной ваты, могут быть выбраны из номенклатуры изделий, выпускаемых специализированными предприятиями. Все эти варианты заносим в таблицу, представляющую собой морфологическую матрицу.

Таблица морфологического анализа снижения уровня звукового давления при сочетании вариантов

Конструктивные варианты	Возможные варианты решения			
	Шумоизоляция	Шумопоглощение	Перепланировка помещения	Акустическая обработка
Материал	A1 – Воздушная прослойка	A2 – Минвата	A3 – Панель шумоизоляционная	A4 – Мастика шумопоглощающая
Конструкция	B1 – Стационарная	B2 – Панель подвесная	B3 – Перегородка	B4 – Нанесение распылением
Место установки	V1 – Пол и стены	V2 – Потолок	V3 – Пол	V4 – Стены

Общее число теоретически возможных вариантов решения N равно произведению чисел элементов в каждой строке таблицы. В данном случае $N = 4 \cdot 4 \cdot 4 = 64$. Самой непростой частью работы является выбор и анализ полученных вариантов. Такими вариантами могут, например, быть:

1) материал – минеральная вата (A2), конструкция – стационарная (B1), место установки – стены (B4); запишем это в виде $A2 \cdot B1 \cdot B4$;

2) материал – мастика (A4), конструкция – нанесение распылением (B4), место установки – потолок (B2); запишем как $A4 \cdot B4 \cdot B2$;

3) материал – воздушная прослойка (A1), конструкция – панель подвесная (B2), место установки – пол (B3); $A1 \cdot B2 \cdot B3$.

Могут быть и другие варианты. Затем необходимо оценить эффективность каждого из выбранных вариантов и провести их сравнительную оценку для выбора наиболее предпочтительного.

Расчет величин снижения уровня звукового давления ΔL для различных вариантов можно проводить по известным методикам [5–9].

Максимально возможное снижение ΔL в рабочей точке помещения при его акустической обработке в виде установки шумопоглотителей можно вычислить по формуле

$$\Delta L_{\max} = 10 \lg (1 + Q).$$

Здесь величина Q зависит от формы помещения (соразмерного, плоского или длинного) и может быть определена по известным данным [9].

Максимальное снижение уровня звукового давления ΔL , дБ, на рабочем месте, расположенном в зоне отраженного звука, при установке шумопоглощающих конструкций определяется по формуле

$$\Delta L = 109 \lg [B_1 \psi / B \psi_1],$$

где ψ и ψ_1 – коэффициенты, определяемые для случаев до и после установки шумопоглощающих конструкций.

Постоянная B_1 рассчитывается по формуле

$$B_1 = (A_1 + \Delta A) / (1 - a_1),$$

где A_1 – значение шумопоглощения необлицованных ограждающих поверхностей, м^2 : $A_1 = a(S_{\text{огр}} - S_{\text{обл}})$, где a – средний коэффициент шумопоглощения помещения до установки шумопоглощающих конструкций: $a = B / (B + S_{\text{огр}})$; $S_{\text{огр}}$ – общая площадь ограждающих поверхностей помещения, м^2 ; $S_{\text{обл}}$ – площадь шумопоглощающей облицовки, м^2 ; ΔA – значение дополнительного шумопоглощения, вносимого облицовкой и штучными шумопоглотителями: $\Delta A = a_{\text{обл}} S_{\text{обл}} + A_{\text{шт}} n_{\text{шт}}$; $a_{\text{обл}}$ – реверберационный коэффициент шумопоглощения облицовки в октавной полосе частот; $A_{\text{шт}}$ – значение шумопоглощения штучного шумопоглотителя, м^2 ; $n_{\text{шт}}$ – количество штучных шумопоглотителей; a_1 – средний коэффициент шумопоглощения помещения после установки шумопоглощающих конструкций: $a_1 = (A_1 + \Delta A) / S_{\text{огр}}$.

Расчетами получено, что с помощью шумопоглощающих облицовок и конструкций можно обеспечить снижение шума в помещении на $\Delta L = 8 \dots 10$ дБ.

Звукопоглощающие конструкции следует размещать на потолке и на верхних частях стен. Звукопоглощающие конструкции целесообразно размещать отдельными участками или полосами. На частотах ниже 250 Гц эффективность звукопоглощающей облицовки увеличивается при ее размещении в углах помещения [10]. Штучные шумопоглотители применяются в тех случаях, когда требуемое снижение $\Delta L_{\text{тр}}$ шума в расчетных точках превышает 1...3 дБ не менее чем в трех октавных полосах или 5 дБ хотя бы в одной из полос. Возможен и такой путь решения задачи по установлению величины ΔL , как использование экспериментальных данных, приведенных в литературных источниках, по применению тех или иных устройств, приемов, материалов и т.д.

После выполнения расчетов величины ΔL из всех выбранных вариантов выбирается тот, который отвечает критерию соответствия нормативному уровню безопасности. Общее математическое выражение этого критерия можно представить в виде следующей формулы:

$$K_{CH} = \frac{L_{\Phi} - \Delta L}{L_0},$$

где K_{CH} – критерий соответствия нормативным требованиям; L_{Φ} – фактический (до акустической обработки) показатель уровня звукового давления, дБ; ΔL – величина, показывающая, насколько снизится уровень звукового давления в результате проведенного мероприятия, дБ; L_0 – нормативный показатель уровня звукового давления, дБ.

Идеальным является уровень безопасности при $K_{CH} = 0$, но в любом случае он должен отвечать условию $K_{CH} \leq 1$.

При системном подходе к оценке степени опасности (безопасности) эргатических систем критерии, оценивающие соответствие фактического уровня безопасности нормативному, должны рассматриваться во взаимосвязи с технико-экономическими, экологическими и другими показателями. Это является предметом отдельного рассмотрения и решения задачи с применением морфологического метода системного анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Морфологический метод системного анализа сложных систем можно считать наиболее эффективным способом решения задач улучшения условий труда, повышения уровня производственной безопасности при необходимости учета множества исходных параметров. Его можно использовать и в тех случаях, когда требуется получить оригинальные решения. Рассмотренное в качестве примера решение задачи по снижению звукового давления в производственном помещении до нормативного уровня носит практический, прикладной характер. Эту методику можно применять в инженерной практике. Предложенный пример расчета критерия соответствия достигнутых результатов нормативному уровню безопасности при решении задачи снижения уровня звукового воздействия на персонал позволяет оценить эффективность принимаемых решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Академия, 2003. 512 с.

2. Мухин В.И., Малинин В.С. Исследование систем управления. М: Экзамен, 2003. 384 с.
3. Антонов А.В. Системный анализ: учебник для вузов. М: Высшая школа, 2004. 454 с.
4. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник: учеб. пособие для вузов / под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. М.: Высшая школа, 2004. 616 с.
5. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: справочник / под ред. С.В. Белова. М.: Машиностроение, 1989. 368 с.
6. Борьба с шумом на производстве: справочник / под ред. Е.Я. Юдина. М.: Машиностроение, 1985. 400 с.
7. Справочник проектировщика: Защита от шума / под ред. Е.Я. Юдина. М.: Стройиздат, 1974. 134 с.
8. Руководство по расчету и шумоглушению вентиляционных установок. М.: Книга по требованию, 2013. 55 с.
9. Руководство по расчету и проектированию шумоглушения в промышленных зданиях. М.: Книга по требованию, 2014. 130 с.
10. СНиП 23-03-03. Защита от шума. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. 55 с.

Для цитирования: Пузырев Н.М., Мартынов Д.В., Барбашинова Н.Б. Морфологический метод системного анализа в решении прикладных задач производственной безопасности // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2021. № 1 (9). С. 102–110.

MORPHOLOGICAL METHOD OF SYSTEM ANALYSIS IN SOLVING APPLIED PROBLEMS OF INDUSTRIAL SAFETY

N.M. PUZYREV, Cand. Sc., D.V. MARTYNOV, Cand. Sc.,
N.B. BARBASHINOVA, Lecturer

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver,
Russian Federation, e-mail: puzyrevdpo@rambler.ru

When solving problems aimed at improving the level of industrial safety in ergatic systems, it is necessary to take into account a fairly large number of factors that form a complex interconnected structure. To solve this type of problem, the possibility of using various methods of system analysis is proposed and justified. The morphological method of analysis of complex systems can be considered the most effective way in which a large number of initial parameters can be taken into account. As an example, the solution of the problem of reducing the sound pressure level to the standard level in the production room is considered. An example of calculating the criterion of compliance with the standard level of safety in solving the problem of reducing the level of sound impact on personnel is proposed.

Keywords: industrial safety, system analysis, morphological method.

REFERENCES

1. Belov P.G. Sistemnyy analiz i modelirovaniye opasnykh protsessov v tekhnosfere: Uchebnoye posobiye dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy. [System analysis and modeling of hazardous processes in the technosphere: textbook for students of higher educational institutions]. Moscow: Akademiya, 2003. 512 p.
2. Mukhin V.I., Malinin V.S. Issledovaniye sistem upravleniya [Research of control systems]. Moscow: Ekzamen, 2003. 384 p.
3. Antonov A.V. Sistemnyy analiz: uchebnik dlya vuzov [System analysis. Textbook for universities]. Moscow: Vysshaya shkola, 2004. 454 p.
4. Sistemnyy analiz i prinyatiye resheniy: slovar-spravochnik: ucheb. posobiye dlya vuzov [System analysis and decision making: Dictionary – reference book: textbook for universities] / ed. V.N. Volkova, V.N. Kozlova. Moscow: Vysshaya shkola, 2004. 616 p.
5. Sredstva zashchity v mashinostroyenii: Raschet i proyektirovaniye: spravochnik [Means of protection in mechanical engineering: Calculation and design: reference book / ed. S.V. Belov]. Moscow: Mashinostroenie, 1989. 368 p.
6. The fight against noise in production: a reference book, ed. E.Ya. Yudin. Moscow: Mashinostroenie, 1985. 400 p.
7. Borba s shumom na proizvodstve: spravochnik [The fight against noise in production: a reference book] / ed. by E.Ya. Yudin. Moscow: Stroizdat, 1974. 134 p.
8. Rukovodstvo po raschetu i shumoglusheniyu ventilyatsionnykh ustanovok [Guidelines for the calculation and noise suppression of ventilation units]. Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2014. 130 p.
9. Guidelines for the calculation and design of noise suppression in industrial buildings [Rukovodstvo po raschetu i proyektirovaniyu shumoglusheniya v promyshlennykh zdaniyakh]. Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2014. 130 p.
10. SNiP 23-03-03. Zashchita ot shuma [Noise protection]. Moscow: Gosstroy Rossii, FGUP TSPP, 2004. 55 p.

Поступила в редакцию/received: 02.11.2020; после рецензирования/revised: 30.11.2020;
принята/accepted 07.12.2020

**ВЕСТНИК
ТВЕРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Серия «Технические науки»

**Научный рецензируемый журнал
№ 1 (9), 2021**

**Print ISSN 2658-5030
Online ISSN 2687-0029**

Редактор М.Б. Юдина
Корректор А.В. Смирнов

Подписано в печать 02.03.2021

Дата выхода в свет

Формат 60 x 84/8

Физ. печ. л. 13,875

Тираж 500 экз.

Усл. печ. л. 12,904

Цена свободная

Заказ № 233

Бумага писчая

Уч.-изд. л. 12,071

С – 111

Редакционно-издательский центр
Тверского государственного технического университета
170026, Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22
Отпечатано в ООО «Наукоемкие технологии»
Центр инженерной печати
170024, Тверь, ул. Академическая, д. 14