

Программное обеспечение для оценки эффективности однотипных научно-исследовательских работ

© Н.П. Деменков

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Предложены методика и программное обеспечение в среде MATLAB для оценки эффективности однотипных научно-исследовательских работ, основанные на использовании метода анализа иерархий. Методика позволяет проводить ранжирование НИР по степени их эффективности, оценить степень важности критериев при оценке работ, эффективно ранжировать направления работ и в итоге получить количественную оценку сравниваемых работ.

Ключевые слова: *научные исследования, эффективность, анализ, методика, иерархия, ранжирование, неопределенность, вербальность, критерии, алгоритм, программа.*

Введение. В настоящее время правительства некоторых государств инвестируют значительные средства в научные исследования и инновационную деятельность. По данным Всемирного Банка, в 2008 г. Германия на научные исследования и разработки направила около 2,7 % ВВП, США — 2,8 %, Япония — около 3,5 %. Страны с переходной экономикой тратят значительно меньше: Белоруссия — 0,74 %, Россия — 1,04 % ВВП. Однако в условиях мирового экономического кризиса на первый план выходит задача повышения эффективности использования средств, выделяемых предприятиям и научным коллективам [1]. В связи с этим необходима оценка экономической эффективности инвестиций.

Научно-исследовательские работы (НИР) — это работы поискового, теоретического и экспериментального характера, выполняемые с целью проверки научных гипотез, обобщений, обоснования проектов, а также расширения, углубления и систематизации знаний по определенной проблеме и создания научного задела.

Под эффективностью научных исследований будем понимать последствия применения человеком результата данного исследования в своей практической инновационной деятельности.

Разработка и применение методов оценки экономической эффективности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ представляет собой один из важнейших рычагов ускорения научно-технического прогресса, а также увеличения концентрации научного потенциала на наиболее важных направлениях развития страны.

Задачу определения эффективности научных исследований можно сформулировать как задачу нахождения количественного

соотношения результатов научных исследований и совокупных затрат на их проведение [2]. Таким образом, определение наиболее эффективной НИР является сложной многокритериальной задачей, решаемой в условиях неполноты или неопределенности исходной информации [3].

Оценка НИР — многоуровневый иерархический процесс, предусматривающий использование нескольких систем критериев на всех этапах проведения исследований и осуществляемый различными группами специалистов.

Для задачи оценки эффективности НИР элементы иерархии — это виды эффекта или критерии, по которым она оценивается. Определение видов эффекта следует производить в зависимости от целей и особенностей конкретных научных исследований.

Научные исследования и разработки делятся на:

- 1) фундаментальные — связанные с формированием принципиально новых теоретических проблем, законов и теорий;
- 2) прикладные — направленные на поиски наиболее рациональных путей практического использования результатов фундаментальных исследований.

Для фундаментальных исследований и разработок характерна научная значимость, а для прикладных — обязательным и главным является определение экономического эффекта и экономической эффективности. Следует учитывать веса эффектов (критериев) при оценке определенной группы работ. Важно учесть тот факт, что для разных по классификации групп работ основные эффекты будут иметь различные веса.

Для рассмотрения различных по классификации НИР нужно выделить общие основные критерии для оценки, которые должны отвечать определенным требованиям. Важнейшие из них: значимость, критичность к оцениваемым параметрам, максимально возможная простота, агрегатность, т. е. объединение в себе по возможности всех основных элементов оцениваемого показателя, и правильный учет специфики работ.

Метод анализа иерархий (МАИ) обладает преимуществами по сравнению с другими методами такого класса, которые существенны при решении поставленной задачи. Во-первых, он не требует допущения о согласованности в предпочтениях, т. е. суждения в общем виде могут быть несогласованными, тем не менее он позволяет проверять согласованность суждений; во-вторых, он позволяет использовать и синтезировать групповые суждения; в-третьих, при попарных сравнениях в МАИ информация более детализирована и применима в сферах, где существуют неизмеримые показатели. Очень удобно в данном случае и то, что он требует представления пробле-

мы в виде иерархии, а в дальнейшем позволяет оценить все ее элементы [4].

1. Оценка эффективности равнозначных работ. Под равнозначными (однотипными) НИР понимаются научные исследования, проводимые внутри одного вуза (как фундаментальные, так и прикладные). Для этих работ можно выделить ряд общих критериев, обладающих определенными приоритетами с точки зрения их относительной важности для оцениваемых работ.

Для решения задачи оценки эффективности НИР при помощи МАИ необходимо структурировать ее в виде иерархии, в которой выделены основные группы критериев. По ним можно оценивать различные по классификации группы НИР, но при этом группы критериев будут иметь различный вес. На первом уровне иерархии выделяется глобальная цель решения задачи — наиболее эффективная НИР.

На втором уровне выделяются основные критерии, по которым будут оцениваться рассматриваемые работы. Для НИР, проводимых в вузе, можно выделить следующие основные группы критериев [5]:

- 1) учебно-исследовательский эффект;
- 2) общенаучный эффект;
- 3) экономический эффект.

На третьем уровне выделяются критерии, по которым будут оцениваться работы. Четвертым уровнем являются сами оцениваемые работы, которые разбиваются на кластеры в соответствии с научными направлениями.

Такое представление позволяет оценить степень важности критериев при оценке работ, а также эффективно ранжировать группы работ каждого направления и, наконец, получить количественную оценку всех сравниваемых работ.

Этот подход рекомендуется для оценки эффективности таких работ, для которых вышеуказанные критерии являются равнозначными, т. е. ее можно использовать для проведения конкурсов НИР или внутри одного вуза, или среди нескольких однопрофильных вузов [2].

В группе «учебно-исследовательского» эффекта выделяются четыре критерия:

- 1) уровень соответствия НИР профилю подготовки специалистов;
- 2) уровень влияния НИР на повышение квалификации преподавателей;
- 3) уровень влияния НИР на повышение качества подготовки специалистов;
- 4) уровень влияния НИР на совершенствование методики и организации обучения.

В качестве первого критерия в группе «общенаучный эффект» выделяется актуальность, под которой, во-первых, понимается сте-

пень соответствия выполняемой НИР основным задачам и темам, проводимым в организации (иными словами, это критерий необходимости проводимой работы), а во-вторых, — уровень соответствия НИР экономическим ресурсам организации, что связано с их ограниченностью.

Следующий критерий — новизна проводимой работы. Она оценивается: по новизне постановки задачи, используемых методов, полученных фактов (или полученной связи между ними); по новизне полученных закономерностей, теории, устройства, вещества, способа; по уменьшению неопределенности имевшегося знания; по рационализации использования прежних результатов.

Критерий «практическая ценность» следует рассматривать в зависимости от типа оцениваемой работы. Если работа фундаментальная, то ее практическая ценность может рассматриваться, во-первых, как теоретическая, так как она будет проявляться через применимость полученных результатов и теоретических исследований в различных областях науки, и, во-вторых, как практическая, поскольку результаты исследований могут использоваться в дальнейшем и в прикладных исследованиях и разработках. Другими словами, результат данного поискового исследования через ряд опосредованных звеньев будет иметь выход в производство материальных продуктов. Если работа прикладная, то практическая ценность будет выражаться непосредственно через возможность практической реализации в любой из областей производства (т. е. данный критерий может рассматриваться как вероятность продвижения технического новшества от «лаборатории до рынка»).

Следующим критерием является перспективность развития исследования, т. е. возможность ее дальнейшего развития и совершенствования.

Оставшиеся два критерия в этой группе могут рассматриваться как количественные:

1) показатель уровня представления результатов НИР в научных публикациях, на выставках и на научных конференциях (уровень теоретических обобщений);

2) показатель уровня патентной защищенности НИР.

Третьей группой критериев является экономический эффект, который обычно рассматривается как наиболее значимый для прикладных работ, имеющих непосредственный выход в производство, и как дополнительный для фундаментальных и поисковых работ, для которых основным является общенаучный эффект.

Существует ряд факторов, затрудняющих или делающих практически невозможным осуществление экономических оценок различных видов фундаментальных исследований.

Расчет экономической эффективности целесообразен для исследований, которые нашли реальное воплощение в новых технических устройствах, материалах и технологиях, пришедших на смену существующим, традиционным, но целиком выполняющим ту же целевую функцию. Такая оценка обеспечивает возможность проведения сравнительных экономических оценок.

Исследования проведенные, но не реализованные, могут быть оценены с точки зрения их потенциальной, носящей вероятностный характер экономической эффективности.

Для ранжирования исследований, не имеющих непосредственного выхода в производство, рассматриваются качественные неформализованные критерии. Первым из них является степень завершенности работы, т. е. степень готовности ее к реализации. Следующий немаловажный критерий — степень наличия потенциальных потребителей.

Экономические эффекты фундаментальной науки проявляются, во-первых, через снижение наукоемкости в производстве (непосредственно), а, во-вторых, через снижение стоимости воспроизводства традиционных видов продуктов (через ряд опосредующих звеньев). Экономическая эффективность результатов фундаментальных исследований, таким образом, может быть рассчитана как соотношение затрат на деятельность академических и иных научных организаций, занятых фундаментальными НИР, и суммы экономии трудозатрат на различных этапах цикла «наука — производство», полученной в результате использования теоретической информации. Теоретически правильным является расчет экономического эффекта (добавочного чистого дохода, получаемого в результате «эксплуатации» научных знаний) пропорционально снятой научной неопределенности.

Таким образом, можно выделить два критерия, существенных как для фундаментальных, так и для прикладных исследований.

1. «Относительная экономическая научная эффективность». Он рассматривается как итог соизмерения экономического эффекта от внедрения результатов НИР и затрат на его достижение, при этом обычно учитывается фактор времени. Здесь предлагается использовать указанный критерий как качественный.

2. «Уровень снижения наукоемкости» (критерий информационной емкости научного знания оцениваемой НИР). Экономический эффект в данном случае — это добавочный чистый доход, получаемый в результате эксплуатации научных знаний пропорционально снятой научной неопределенности.

Иерархия представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структура задачи оценки эффективности НИР

Удобным способом исследования большого числа элементов (больше девяти), попадающих на один из уровней иерархии, является группирование их в кластеры в соответствии с относительной важностью. Предлагается разбить НИР на кластеры согласно направлениям НИР, т. е. в каждом направлении выделяются работы с одной конкретной спецификой. Это позволит оценить не только НИР по отдельности, но и направления в целом. Направления (кластеры) сравниваются попарно по каждому из 14 критериев третьего уровня.

После анализа кластеров элементы в каждом из них попарно сравниваются по важности. Если их слишком много, то они вновь могут быть сгруппированы в кластеры. Каждый элемент, принадлежащий нескольким кластерам, будет получать несколько весов. Элементы кластеров сравниваются по тем же критериям верхнего уровня, что и сами кластеры, так как в данном случае нужно оценить не только направления НИР, но и сами работы по выделенным критериям.

В результате мы имеем четырехуровневую неполную иерархию с разбитым на кластеры четвертым уровнем.

Для решения задачи требуется выполнить следующие действия.

Сравнить группы критериев между собой по степени их важности для оценки эффективности НИР. Для заполнения матриц попарного сравнения элементов иерархии составляются листы (экраны) экспертного опроса. При проведении экспертного опроса экспертам не нужно знакомиться с методом, им лишь нужно ответить на вопросы, поставленные в листах, и отметить нужную ячейку в приведенной

таблице. Для сравнения трех групп критериев между собой требуется заполнить один лист, ответив на следующий вопрос: «Какая из двух указанных групп критериев является наиболее важной для оценки эффективности рассматриваемых работ, т. е. насколько одна группа критериев важнее другой для оценки эффективности работ?». Степень увеличения (уменьшения) важности одной группы по сравнению с другой оценивается по 9-балльной вербальной шкале. Для сравнения имеется три пары групп критериев:

- 1) **а.** учебно-исследовательский эффект;
б. общенаучный эффект;
- 2) **а.** учебно-исследовательский эффект;
б. экономический эффект;
- 3) **а.** общенаучный эффект;
б. экономический эффект.

Таблица заполняется следующим образом (например, для сравнения первой пары критериев): если элемент **а** более важен для оценки эффективности работ, чем элемент **б**, отмечается клетка под соответствующей строкой шкалы 1-го столбца в столбце **а > б**; если, наоборот, **б** важнее **а**, тогда — в столбце **а < б**. По этой же методике заполняется вся таблица, представленная на рис. 2.

Сравнение групп критериев	1		2		3	
	<i>a > b</i>	<i>a < b</i>	<i>a > b</i>	<i>a < b</i>	<i>a > b</i>	<i>a < b</i>
1. Очень слабая значимость	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Слабая значимость	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Промежуточное значение	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Существенная значимость	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Промежуточное значение	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Очевидная значимость	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Промежуточное значение	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Абсолютная значимость	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Рис. 2. Пример таблицы для введения экспертных оценок

Далее требуется сравнить в каждой группе критерии между собой:

- а) критерии 1-й группы по степени их влияния на учебно-исследовательский эффект;
- б) критерии 2-й группы по степени их влияния на общенаучный эффект;
- в) критерии 3-й группы по степени их влияния на экономический эффект.

Экспертам для заполнения листов экспертного опроса требуется ответить на следующие вопросы.

1. Какой из двух критериев из данной пары наибольшим образом влияет на учебно-исследовательский эффект и насколько?

В этой группе четыре критерия, и мы имеем шесть пар для сравнения.

2. Какой из двух критериев из данной пары наибольшим образом влияет на общенаучный эффект и насколько?

В этой группе шесть критериев, и мы имеем 15 пар для сравнения.

3. Какой из двух критериев из данной пары наибольшим образом влияет на экономический эффект и насколько?

В этой группе четыре критерия, и мы имеем шесть пар для сравнения.

Для сравнения групп критериев между собой и попарного сравнения самих критериев в каждой группе требуется заполнить восемь листов экспертного опроса.

Следующим шагом нужно сравнить кластеры НИР между собой по каждому из 14-ти вышеуказанных критериев. В данном случае работы разбиваются по направлениям, т. е. нужно сравнить направления (кластеры) между собой по каждому критерию.

Соответственно экспертам для заполнения опросных листов требуется ответить на следующие вопросы.

Учебно-исследовательский эффект

1. Насколько работы одного кластера (направления) превосходят работы другого кластера по степени соответствия профилю подготовки специалистов?

2. Насколько работы одного кластера больше влияют на повышение качества подготовки специалистов, чем работы другого кластера?

3. Насколько НИР одного кластера больше влияют на совершенствование методики и организации обучения, чем НИР другого кластера?

4. Насколько работы одной из пары кластеров больше влияют на повышение квалификации преподавателей?

Общенаучный эффект

5. Насколько работы одного из кластеров наиболее актуальны, т. е. насколько больше будет вклад работ одного из направлений (кластеров) в выполнение организации своих главных задач. Насколько НИР одного из кластеров больше соответствует ресурсам вуза (материальным и техническим), чем НИР другого?

6. Насколько работы одного из кластеров обладают большей степенью новизны, т. е. насколько более новая постановка задачи, насколько более оригинален метод, насколько больше степень новизны полученных фактов, закономерностей, теории, способа?

7. Насколько у работ одного из кластеров большая степень реализуемости (применимости) научных результатов?

8. Насколько работы одного кластера перспективнее работ другого в области развития исследований?

9. Насколько у работ одного из кластеров выше, чем у работ другого уровень представления научных результатов?

10. Насколько у работ одного из кластеров выше показатель уровня патентной защищенности НИР?

Экономический эффект

11. Насколько выше степень готовности работ одного из кластеров к реализации, чем работ другого?

12. Насколько у работ одного из кластеров больше возможных потенциальных потребителей?

13. Насколько больше относительная экономическая эффективность у работ одного из кластеров, т. е. насколько больше полезный эффект от использования работ одного из направлений и насколько меньше материальных и временных затрат на выполнение работ одного из направлений по сравнению с работами другого?

14. Насколько работы одного из кластеров способны наибольшим образом снизить «наукоемкость», т. е. насколько больше добавочный чистый доход, полученный в результате эксплуатации научных знаний работ одного из направлений по сравнению с работами другого?

Полученные результаты позволили более объективно оценить научно-исследовательские работы, так как учтена важность оценок по показателям целей, т. е. приоритеты подразделов целей и приоритеты оценок по позициям целей. В результате наибольший вес получили самые важные позиции, чего не наблюдалось при расчете среднего арифметического оценок по ранее использовавшейся методике.

2. Пакет программ для принятия плохоформализованных решений. Для оценки эффективности НИР использовался пакет программ МАИ, выполненный в среде MATLAB [6]. Программное обеспечение позволяет решать неформализованные задачи оптимизации, структурированные в виде 3-, 4- и 5-уровневых полных и неполных иерархий. Пользователю необходимо представить свою задачу в виде иерархической декомпозиции и при работе с программой выбрать подходящую структуру с необходимым количеством уровней.

Работа с программой ведется последовательно по уровням. Пользователь вводит количество элементов каждого уровня. Если иерархия на текущем уровне неполная, то вводится количество подкритериев каждого критерия вышестоящего уровня.

На втором уровне вводится одна матрица попарных сравнений, порядок которой определяется количеством элементов уровня, на нижестоящих уровнях вводятся матрицы для сравнения по каждому критерию вышестоящих уровней и их количество определяется количеством этих критериев. Порядок матриц равен количеству эле-

ментов текущего нижестоящего уровня в случае полной иерархии и количеству подкритериев текущего уровня для каждого критерия вышестоящего уровня в случае неполной иерархии.

При введении матриц попарных сравнений система выдает номер критерия вышестоящего уровня для сравнения и номера сравниваемых элементов. Элементы сравниваются однократно, и происходит заполнение матрицы под главной диагональю (т.е. сравниваются элементы в следующей последовательности: 2 и 1; 3 и 1; 3 и 2; 4 и 3; 4 и 2; 4 и 3 и т. д. в зависимости от порядка матрицы). Остальные сравнения обратнo-симметричны введенным. При сравнении пользователь определяет сначала значимость сравниваемых элементов (рис. 3).

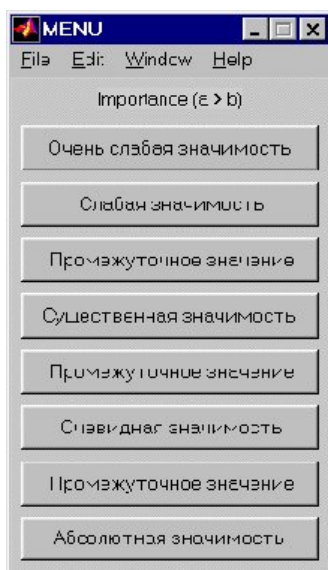


Рис. 3. Введение степени значимости по 9-балльной вербальной шкале

Если сравнения даются группой экспертов, то они вводятся поочередно, а затем вычисляется среднее геометрическое всех введенных сравнений. Такой расчет прост для реализации и не нарушает условия обратной симметричности матриц множественных суждений.

Для каждой матрицы рассчитывается и нормируется относительно единицы собственный вектор, соответствующий ее максимальному собственному значению, и отношение согласованности суждений экспертов.

Затем рассчитывается вектор приоритетов текущего уровня и отношение согласованности уровня.

После оценки элементов последнего уровня, т. е. альтернатив, рассчитывается глобальный вектор приоритетов и согласованность

всей иерархии. Результаты выдаются в численном и графическом виде, графики выдаются для векторов приоритетов в виде гистограмм в окнах ввода системы MATLAB (рис. 4).

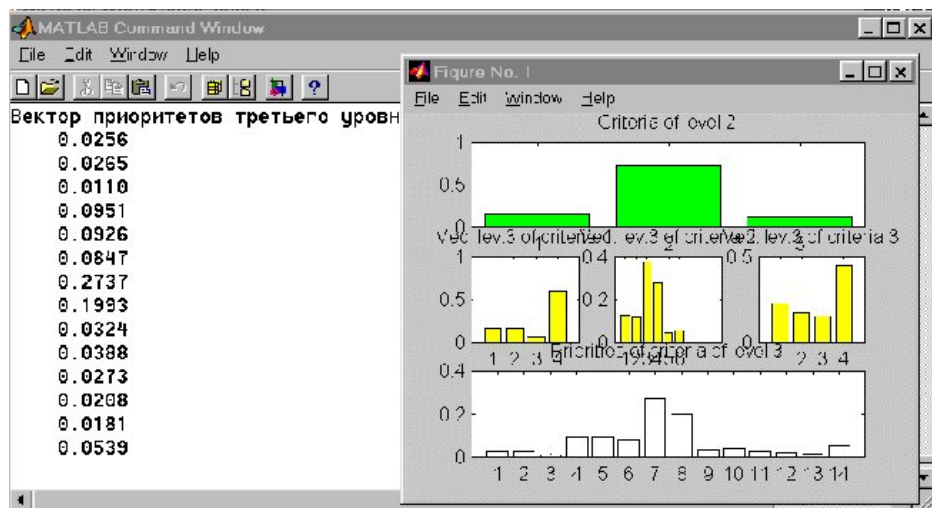


Рис. 4. Векторы приоритетов

При работе с системой пользователь может прервать работу в любом месте, записать данные во введенный им файл, а затем начать работу с прерванного места, указав имя файла, в котором записаны все данные.

После окончания работы пользователю предлагается записать все результаты в отдельный файл, чтобы можно было в любой момент их просмотреть и распечатать.

Заключение. Предложены методика и программное обеспечение в среде *MATLAB* для оценки эффективности однотипных научно-исследовательских работ, основанные на использовании метода анализа иерархий.

Методика позволяет проводить ранжирование НИР по степени их эффективности, оценить степень важности критериев при оценке работ; эффективно ранжировать направления работ и в итоге получить количественную оценку сравниваемых работ.

Методика и программное обеспечение апробированы в течение нескольких лет при проведении конкурсов НИР на факультете «Информатика и управление» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Методика может эффективно использоваться для оценки эффективности таких работ, для которых вышеуказанные критерии являются равнозначными, т. е. ее можно использовать для проведения конкурсов НИР или внутри одного вуза, или между несколькими однопрофильными вузами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Азгальдов Г.Г., Костин А.В. Интеллектуальная собственность, инновации и квалиметрия. *Экономические стратегии*, 2008, № 2(60), С. 162–164.
- [2] Татаринев Ю.Б. *Проблемы оценки эффективности фундаментальных исследований*. Москва, Наука, 1986, 227 с.
- [3] Фасфелд Г. *Эффективность научных исследований и разработок*. Москва, Экономика, 1986, 144 с.
- [4] Саати Т.Л. *Принятие решений. Метод анализа иерархий*. Москва, Радио и связь, 1993, 315 с.
- [5] *Типовая методика определения уровня эффективности НИР в вузах*. Москва, МАИ, 1980, 53 с.
- [6] Грунина Г.С., Деменков Н.П. Пакет программ, реализующий метод анализа иерархий. *Приборы и системы управления*, 1996, № 7, с. 10–11.

Статья поступила в редакцию 28.06.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Деменков Н.П. Программное обеспечение для оценки эффективности однотипных научно-исследовательских работ. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 10. URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/1085.html>

Деменков Николай Петрович родился в 1944 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1968 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Системы автоматического управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Лауреат премии Ленинского комсомола в области науки и техники. Автор свыше 200 научных работ, посвященных методам оптимизации, анализа и синтеза систем управления и ориентированных на применение информационных технологий и средств вычислительной техники.

e-mail: demenkov@iul.bmstu.ru