

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №3 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-3>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/180TVN315.pdf>

DOI: 10.15862/180TVN315 (<http://dx.doi.org/10.15862/180TVN315>)

УДК 621.865.8

Поезжаева Елена Вячеславовна

ПНИПУ «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Россия, Пермь
Кандидат технических наук
Профессор

Мисюров Михаил Николаевич

ПНИПУ «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Россия, Пермь
Студент
E-mail: Providenceone@mail.ru

Сергеев Алексей Андреевич

ПНИПУ «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Россия, Пермь
Студент
E-mail: alekssergandreev@mail.ru

Роботизация шахтного дела

Аннотация. Наша научная работа посвящена проектированию и расчету «робота-шахтера». Этот робот, по нашему предположению, сможет помогать человеку в работе в шахтах и рудниках. В статье мы рассматриваем основные функции нашего робота, строим расчеты движения в среде с препятствиями и обосновываем необходимость того или иного технического решения. Кроме того, мы постарались использовать неординарные технические решения, позволившие сделать робота еще более независимым от человеческого вмешательства, в результате чего повысилась его самостоятельность и возможность выполнять свои функции без непосредственного надзора. Газоанализатор определит качественный и количественный состав смесей газов в шахте и определит о безопасном нахождении человека в шахте. Для повышения точности позиционирования захвата манипулятора в пространстве используем расчеты, связанные с планированием траектории движения роботов с обходом препятствий в изменяющейся среде.

Ключевые слова: робот-шахтер; работа в шахте; сбор проб; определение состава газов; газоанализатор; камера; манипулятор; независимая подвеска.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Поезжаева Е.В., Мисюров М.Н., Сергеев А.А. Роботизация шахтного дела // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №3 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/180TVN315.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/180TVN315

Роботы постепенно занимают все больше и больше места в нашей жизни и уже стали неотъемлемой частью человеческой повседневности. Они помогают человеку во всех отраслях его жизни, начиная от домашних дел и заканчивая помощью на производстве. Это касается не только высокотехнологичных отраслей, в которых робот с успехом заменяет человека благодаря необходимой точности позиционирования, но и вредных и опасных для человеческого здоровья производств, в частности работа в шахтах. Работа в шахтах всегда опасна для жизни, поэтому, чтобы обезопасить её, необходимо внедрить роботов. Именно по этой причине мы решили разработать робота-шахтера. Он будет выполнять необходимые операции вместо людей, что существенно обезопасит человека от происшествий, происходящих в шахтах.

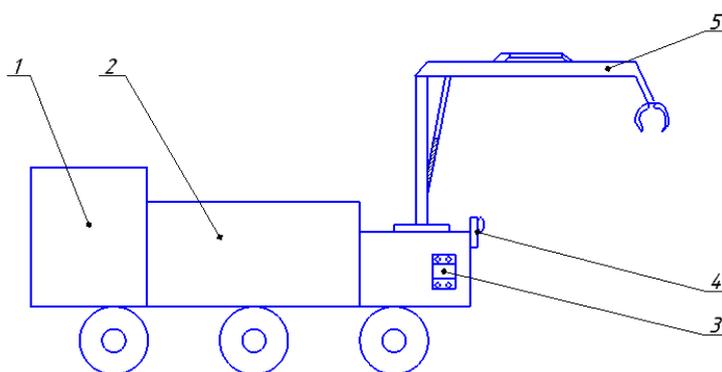


Рис. 1. Основные части конструкции робота: 1 – блок управления и емкость для аккумуляторов; 2 – кузов для сбора образцов; 3 – камера для наблюдения положения руки; 4 – газоанализатор; 5 – рука для сбора образцов

Основной частью робота-шахтера будет являться платформа. На платформе будет находиться блок управления, емкость для аккумуляторов и кузов для сбора образцов. Также на платформе будет навесное оборудование, позволяющее выполнять требуемые операции. Питание платформы осуществляется от серийных промышленных свинцово-кислотных аккумуляторов, которые можно легко и недорого заменить.

Учитывая назначение и сферу деятельности робота, мы пришли к выводу, что оптимальным вариантом будет колесное шасси с независимой подвеской: шесть колес с независимой подвеской легко преодолевают сложные препятствия и обеспечивают превосходную устойчивость даже на высоких скоростях. Подвеска справляется с пересеченной местностью, обеспечивая стабильность платформы для более точного сбора данных. Она также проста в техническом обслуживании.

Механическая рука, оснащенная камерой и специальным рабочим органом, будет крепиться к платформе. Механическая рука позволит сделать захват какого-либо предмета, например камня. Именно посредством этой руки будет осуществляться сбор проб в шахтах. Рука приводится в движение гидроцилиндрами под управлением контроллера. Камера на механической руке служит для проверки работоспособности робота, а также для управления роботом посредством человека [6,9].

Газоанализатор – это измерительный прибор для определения качественного и количественного состава смесей газов. Газоанализатор предназначен для эксплуатации в средах с содержанием механических примесей (пыли, смол, масел) и агрессивных веществ (хлора, серы, фосфора, фтора, мышьяка, сурьмы и их соединений). Газоанализатор позволит определить состав смеси газов и сделать вывод о безопасности нахождения человека в том

или ином месте шахты. В шахтах не редки случаи, когда в местах, где ходят люди, бывает утечка опасных газов. Робот-шахтер с помощью газоанализатора сможет отследить это место и предупредить человека об опасности [3,4].

Точность позиционирования захвата манипулятора

Для повышения точности позиционирования захвата манипулятора в пространстве используем расчеты, связанные с планированием траектории движения роботов с обходом препятствий в изменяющейся среде.

Одним из фундаментальных требований, предъявляемых как к манипуляционным, так и к мобильным роботам, является способность планировать и выполнять целенаправленные движения в среде с препятствиями [1]. Проблему создания соответствующих алгоритмов можно решать на двух уровнях: верхнем - уровне планирования, и нижнем - уровне управления.

На уровне планирования задача формулируется следующим образом: определить путь данного объекта из начального положения в заданное целевое заранее известной среде, содержащей стационарные и движущиеся по известным законам препятствия. До недавнего времени задача решалась только для стационарных препятствий, и лишь в последнее время стали разрабатываться методы планирования движения роботов в присутствии движущихся препятствий. Исследования в основном сосредоточены на разработке так называемых «геометрических подходов», когда в явном виде конструируются ограничения, возникающие из-за препятствий, а затем с их учетом осуществляется поиск пути. Существенно, что в изменяющейся среде эти ограничения являются функциями времени.

На уровне управления решается задача перемещения робота по найденной траектории с выполнением таких требований, как точность, гладкость и др. Кроме того, этот уровень включает в себя модификацию траектории в реальном времени для локального обхода препятствий, которые оказались в непосредственной близости от робота и не были учтены при планировании траектории. В отличие от глобального планирования на верхнем уровне здесь используются более простые алгоритмы, обладающие высоким быстродействием, но ограниченными возможностями обхода препятствий. Например, может использоваться «метод потенциального поля», когда препятствиям приписывается потенциал отталкивания, а цели - потенциал притяжения: робот перемещается под действием соответствующих сил этого поля [2].

В общем случае, если обозначить время работы алгоритмов глобального планирования через T_g , а время работы алгоритмов локального обхода через T_l , то $T_l \ll T_g$.

При описанном иерархическом подходе на верхнем уровне достаточно иметь грубую информацию о среде (например, только оценку скоростей движения препятствий), по которой определяется номинальная траектория движения. На нижнем уровне траектория модифицируется с учетом более точной информации о локальном окружении робота, получаемой от датчиков в процессе движения. Таким образом, некоторая неточность оценки движений препятствий компенсируется за счет обратной связи.

При разработке предложенного подхода основное внимание уделяется задаче планирования движения робота в известной среде с движущимися препятствиями. При решении аналогичной задачи в стационарной среде производится только поиск пути среди неподвижных препятствий, а скорость перемещения робота по найденному пути может быть произвольной, так как в любом случае столкновений с препятствиями не происходит. Эта задача называется проблемой планирования пути (ППП). Если же препятствия движутся, то

важно не только найти путь в цель, но и определить функцию скорости на этом пути, так как при одних скоростях столкновения будут, а при других нет. При этом следует учитывать дополнительные физические ограничения, например ограничения по скорости движения робота. Проблема нахождения пути как функции времени названа проблемой планирования траектории (ППТ) [7].

Предлагается производить декомпозицию этой проблемы следующим образом:

- запланировать пути робота с учетом стационарных препятствий;
- выбрать один из путей для достижения целевого положения;
- запланировать скорость движения вдоль этого пути так, чтобы избежать столкновений с движущимися препятствиями.

Как видно, первая часть алгоритма является решением ППП, а вторая названа проблемой планирования скорости (ППС).

Основное достоинство декомпозиции состоит в снижении сложности проблемы путем снижения размерности пространства поиска в сочетании с эффективностью решения задачи. Однако возможны случаи, когда метод декомпозиции не позволяет решить задачу, тогда можно использовать либо локальный обход препятствия, либо, выбрав на этапе ППП другой путь, заново запланировать скорость вдоль него.

В двумерной среде с многоугольными препятствиями для решения ППП используется стандартный метод на основе графа видимости (V - графа). Граф видимости $VG(N,E)$ имеет множество вершин $N=\{I,F\} \cup V$ где I и F - соответственно начальное и целевое положения, а V - множество вершин многоугольных препятствий, и множество дуг E , содержащее все отрезки прямых (n_i, n_j) , которые соединяют вершину n_i с вершиной n_j , не пересекая препятствий. Оптимальным (кратчайшим) безопасным путем π из I в F является путь минимальной стоимости на V - графе из вершины I в вершину F . Стоимость дуги определяется евклидовой метрикой. V - граф показан на рис. 2.

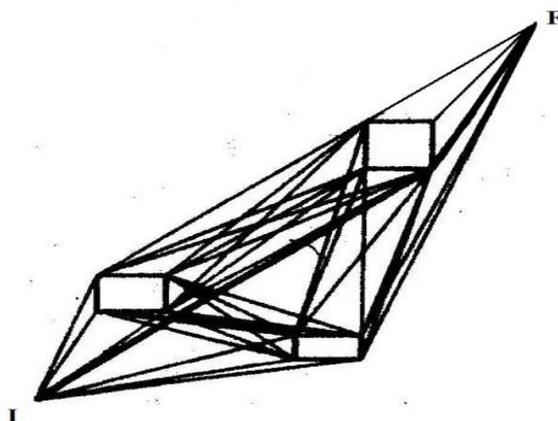


Рис. 2. Граф

Для решения ППС размерность пространства поиска увеличивается за счет введения дополнительной переменной - времени, и затем используется геометрический подход для поиска в этом пространстве, которое обозначается $s \times t$. Для конструирования пространства $s \times t$ требуется, чтобы путь в цель, найденный среди стационарных препятствий на этапе решения ППП, был представлен в виде параметризованной кривой $x_\pi(s)$, где в качестве параметра s может быть выбрана, например, текущая длина пути. Таким образом, пространство $s \times t$ - двумерно. Движущиеся препятствия вызывают наличие изменяющихся во времени ограничений на пути робота, которые формируют запретные области в

пространстве $s \times t$. Например, пусть в двумерном случае путь робота задан в виде отрезка прямой, а препятствие k в форме круга диаметра d , движется с постоянной скоростью перпендикулярно этому пути [5].

Пусть t_k - момент времени, когда это препятствие подходит к отрезку и касается его, а t'_k - момент его отхода от отрезка (рис. 3). Максимальный участок отрезка пути $x_\pi(s)$, занятый препятствием в течение всего интервала $[t_k, t'_k]$, равен $[s_k, s'_k] = d$. В качестве аппроксимации запретной области в пространстве $s \times t$ можно рассматривать прямоугольник со сторонами $[s_k, s'_k]$ и $[t_k, t'_k]$, в то время как сама запретная область является эллипсом, вписанным в этот прямоугольник, как показано на рис. 4, где обозначено: 1 - описанный прямоугольник; 2 - точная запретная область. В общем случае вычисление запретных областей в пространстве $s \times t$ является нетривиальной задачей.

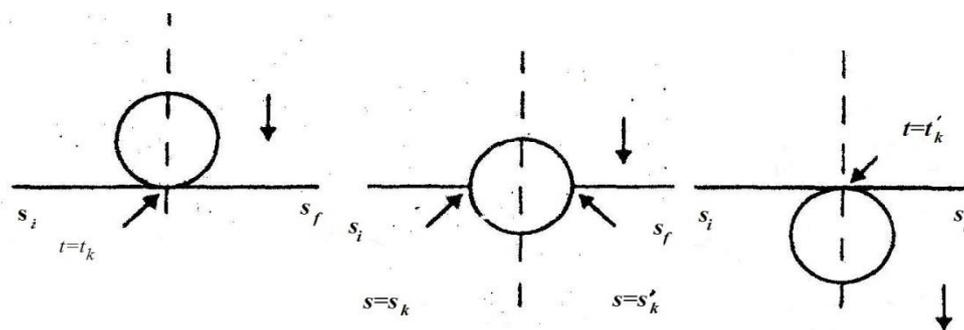


Рис. 3

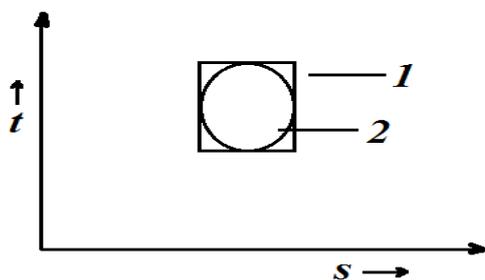


Рис. 4

Таким образом, ППС может быть сформулирована в следующем виде: в пространстве $s \times t$ найти путь, соединяющий начальную точку (s_i, t_i) с конечной точкой (s_f, t_f) , который не пересекает запретных областей. В отличие от ППП в данной проблеме существуют весьма существенные дополнительные ограничения.

- Ограничение по монотонности: значение координаты t при движении по траектории должно монотонно возрастать, так как время не может повернуть вспять. Если траектория параметризована по другому параметру a , $\frac{dt}{da} > 0$.
- Ограничение по непрерывности в общем случае включает в себя требование непрерывности траектории, скорости, ускорения. В рассматриваемой задаче для получения номинальной траектории, используемой затем на более низком уровне управления, можно ограничиться только требованием непрерывности траектории.
- Ограничение по скорости: $|v(t)| \leq V_{\max}$. В пространстве $s \times t$ имеет место $v(t) = \frac{dx}{dt} = \pi = \frac{dx_\pi}{ds} \frac{ds}{dt}$, причем так как $X_\pi(s)$ задано, то $\frac{dx_\pi}{ds}$ - известно, следовательно

ограничение $\frac{dx_{\pi}}{dt}$ вызывает в $s \times t$ ограничение наклона $\frac{ds}{dt}$. Если s представляет собой длину, то $\left| \frac{dx_{\pi}}{ds} \right| = 1$, тогда справедливо неравенство $\left| \frac{ds}{dt} \right| \leq V_{\max}$.

В предположении, что запретные области многоугольны, справедлива следующая теорема о пути минимальной длины в пространстве $s \times t$ с учетом ограничения наклона: путь минимальной длины из начальной точки I в конечную точку F , удовлетворяющий ограничению наклона, состоит из направленных отрезков ($\left| -\frac{ds}{dt} \right| \leq V_{\max}$), соединяющих вершины запретных областей.

Для нахождения этого пути строится направленный граф видимости $DVG(N,E)$ (Directed Visibility Graph). Его вершины $N=\{I,F\}UV$, где V - вершины многоугольных запретных областей. Обозначим эти запретные области через O , тогда вершина $n_j = (s_j, t_j)$ видна из вершины $n_i = (s_i, t_i)$, если и только если:

$$\begin{aligned} \overline{n_i, n_j} \cap O &= \emptyset, \\ |s_j - s_i / t_j - t_i| &\leq V_{\max}, \\ t_i &< t_j. \end{aligned}$$

E - это множество дуг (n_i, n_j) , таких, что вершина n_j видна из вершины n_i .

Таким образом, порядок решения ППС следующий:

- в пространстве $s \times t$ построить запретные области от движущихся препятствий;
- сконструировать направленный граф видимости DVG ;
- найти путь на графе DVG из вершины I в вершину F ;
- если путь на графе DVG существует, то существует траектория, соответствующая пути, построенному на первом этапе решения ППП, в противном случае - траектории не существует.

После того, как на уровне планирования определена номинальная траектория в виде последовательности точек в пространстве $s \times t$, она сглаживается и модифицируется вблизи препятствий в процессе движения робота на уровне управления. Для этого используется следующая стратегия: если датчик обнаружил препятствие в окрестности робота, то робот получает ускорение, направленное от препятствия, определяемое следующим образом:

$$|\ddot{x}_0| = \begin{cases} \frac{n}{(R-R_0)^2}, & R \leq R_0 \\ 0, & R > R_0 \end{cases}$$

где R - кратчайшее расстояние от робота до препятствия, R_0 - радиус окрестности робота, n - константа.

Пусть в момент $T = t_0$ запланирована подцель (X_g, t_g) как точка пространства $s \times t$ и пусть $X(t)$ - положение робота в момент t , тогда ускорение, вызванное притяжением к цели, задается системой:

$$\ddot{X}_m = -k_p(X - X_g) - k_v\dot{X}.$$

Скорость, определенная на этапе планирования, равна:

$$V_g = \left| \frac{X_g - X_0}{t_g - t_0} \right|.$$

Для системы слежения за скоростью можно записать:

$$\begin{aligned}\dot{X}_g &= \frac{k_p}{k_v} (X_g - X), \\ \ddot{X}_m &= -k_v(\dot{X} - v\dot{X}_g), \\ v &= \min\left(1, \frac{V_g}{\sqrt{(\dot{X}_g^T \dot{X}_g)}}\right).\end{aligned}$$

Полное ускорение определяется формулой:

$$\ddot{X} = \ddot{X}_m + \ddot{X}_0.$$

Таким образом, на большей части траектории робот будет двигаться со скоростью V_g в направлении цели за исключением фаз разгона и торможения или когда в его окрестности оказывается препятствие [10].

Если на этапе планирования скорости препятствий были заданы точно, то полученная траектория является сглаженной версией номинальной траектории. Если скорости движения препятствий отличаются от заданных, то и траектория отличается от номинальной [8].

В заключение можно сказать, что проект «Робот-шахтер» мы представляем себе именно таким. Может, с помощью данного робота, мы не добьемся поставленных задач, ввиду не очень хорошего выбора составных частей робота, но мы надеемся, что при улучшении нашего проекта можно будет использовать данного робота в шахтах. Мы постарались спроектировать робота, который смог бы помочь человеку в опасной профессии шахтера и обезопасить работу в шахтах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поезжаева Е.В. промышленные роботы: учеб. пособие: в 3 ч. / Е.В. Поезжаева. – Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. ун-та, 2009.-Ч.2. - 185 с.
2. Зенкевич С.Л. Основы управления манипуляционными роботами / С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 479 с.
3. Федотов А.Г., Поезжаева Е.В., Заглядов П.В., Безопасность труда при взаимодействии с промышленными роботами // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика, 2014, стр. 14-15.
4. Сергеев А.А., Мисюров М.Н., Кычкин В.И., Виброакустическая диагностика технического состояния участков трамвайных путей в целях снижения неблагоприятных факторов // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика, 2014, стр. 351-361.
5. Корендясев А.И. Теоретические основы робототехники: в 2 кн. / А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес; отв. Ред. С.М. Каплунов. – М.: Наука, 2006.
6. Хорн Б.К. Зрение роботов. – М.: Мир, 1989.
7. Довбня Н.М. Роботизированные технологические комплексы в ГПС / Н.М. Довбня, А.Н Кондратьев, Е.И. Юревич. М., 2000.
8. Герасун В.М. Исследование оптимальных конфигураций манипулятора - трипода с поворотным основанием / В.М. Герасун, В.В. Жога, И.А. Несмиянов, Н.С. Воробьева, В.В. Дяшкин-Титов // Мехатроника, автоматизация, управление, 2013. - №6. - С. 21-16.
9. Корендясев А.И, Саламандра Б.Л, Тывес Л.И. Манипуляционные системы роботов. М.: Машиностроение, 1989. 472 с.
10. Глазунов В.А, Колискор А.Ш., Крайнев А.Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. М.: Наука, 1991, 95 с.

Рецензент: Статья рецензирована членами редколлегии журнала.

Poezhaeva Elena Vyacheslavovna

PNIPU «Perm National Research Polytechnic University»
Russia, Perm

Misyurov Mikhail Nikolaevich

PNIPU «Perm National Research Polytechnic University»
Russia, Perm
E-mail: Providenceone@mail.ru

Sergeev Aleksey Andreevich

PNIPU «Perm National Research Polytechnic University»
Russia, Perm
E-mail: alekssergandreev@mail.ru

Robotization for mining Affairs

Abstract. Our scientific work is devoted to the design and calculation of "robot-miner." This robot, according to our hypothesis, can help a person to work in the mines. In this article we consider the basic functions of our robot, build estimates motion in an environment with obstacles and justifies the need of a particular technical solution. In addition, we have tried to use ordinary technical solutions will make the robot more independent of human intervention, resulting in increased independence and it's ability to perform its functions without direct supervision. The gas analyzer determines the qualitative and quantitative composition of the mixture of gases in the mine and determine the safe finding the man in the mine. To improve the accuracy of positioning gripper in space use calculations related to planning trajectory of the robot while avoiding obstacles in a changing environment.

Keywords: robot-miner; working in the mine; collecting samples; determination of the composition of gas; gas analyzer; camera; trackball; independent suspension.

REFERENCES

1. Poezhaeva E.V. promyshlennye roboty: ucheb. posobie: v 3 ch. / E.V. Poezhaeva. – Perm': Izd-vo Perm. gos. tekhn. un-ta, 2009.-Ch.2. - 185 s.
2. Zenkevich S.L. Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robotami / S.L. Zenkevich, A.S. Yushchenko. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2004. – 479 s.
3. Fedotov A.G., Poezhaeva E.V., Zaglyadov P.V., Bezopasnost' truda pri vzaimodeystvii s promyshlennymi robotami // Ekologiya i nauchno-tekhnicheskii progress. Urbanistika, 2014, str. 14-15.
4. Sergeev A.A., Misyurov M.N., Kychkin V.I., Vibroakusticheskaya diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya uchastkov tramvaynykh putey v tselyakh snizheniya neblagopriyatnykh faktorov // Ekologiya i nauchno-tekhnicheskii progress. Urbanistika, 2014, str. 351-361.
5. Korendyasev A.I. Teoreticheskie osnovy robototekhniki: v 2 kn. / A.I. Korendyasev, B.L. Salamandra, L.I. Tyves; otv. Red. S.M. Kaplunov. – M.: Nauka, 2006.
6. Khorn B.K. Zrenie robotov. – M.: Mir, 1989.
7. Dovbnya N.M. Robotizirovannye tekhnologicheskie komplekсы v GPS / N.M. Dovbnya, A.N. Kondrat'ev, E.I. Yurevich. M., 2000.
8. Gerasun V.M. Issledovanie optimal'nykh konfiguratsiy manipulyatora - tripoda s povorotnym osnovaniem / V.M. Gerasun, V.V. Zhoga, I.A. Nesmiyanov, N.S. Vorob'eva, V.V. Dyashkin-Titov // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie, 2013. - №6. - S. 21-16.
9. Korendyasev A.I., Salamandra B.L., Tyves L.I. Manipulyatsionnye sistemy robotov. M.: Mashinostroenie, 1989. 472 s.
10. Glazunov V.A., Koliskor A.Sh., Kraynev A.F. Prostranstvennye mekhanizmy parallel'noy struktury. M.: Nauka, 1991, 95 s.