



ВЕСТНИК машиностроения

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ



10/2014



ВЕСТНИК машиностроения

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

**10
2014**

ИЗДАЕТСЯ С НОЯБРЯ 1921 ГОДА

*Журнал входит в перечень утвержденных
ВАК РФ изданий для публикации трудов
соискателей ученых степеней*

Журнал переводится на английский язык,
переиздается и распространяется
во всем мире фирмой
"Аллертон Пресс" (США)



ООО «Издательство Машиностроение»
107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Адрес редакции:

107076, Москва,
Стромьинский пер., 4.
Телефон: 8-(495)-661-38-80.
E-mail: vestmash@mashin.ru
www.mashin.ru

Главный редактор А.И. САВКИН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Алешин Н.П., д-р техн. наук, акад. РАН, Братухин А.Г.,
д-р техн. наук, Воронцов А.Л., д-р техн. наук, Гусейнов А.Г.,
д-р техн. наук, Дмитриев А.М., д-р техн. наук, член-корр.
РАН (председатель секции обработки материалов без
снятия стружки), Драгунов Ю.Г., д-р техн. наук, член-
корр. РАН, Древаль А.Е., д-р техн. наук (председатель
секции технологии машиностроения), Кутин А.А., д-р
техн. наук, Омельченко И.Н., д-р техн. и экон. наук (пред-
седатель секции организации и экономики производ-
ства), Кузин В.В., д-р техн. наук, Попов Д.Н., д-р техн.
наук, Попов А.В., д-р техн. наук, Рыбин В.В., д-р техн.
наук, член-корр. РАН, Салтыков М.А., д-р техн. наук,
Трегубов Г.П., д-р техн. наук, Скугаревская Н.В. (ответст-
венный секретарь)

Журнал зарегистрирован 19 апреля 2002 г.
за № 77-12421 в Комитете Российской Федерации
по печати

Учредитель: А.И. Савкин

Индексы: 70120 ("Роспечать"),
27841 ("Пресса России"),
60264 ("Почта России")

Цена свободная

Отпечатано в ООО "Канцлер",
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д.4, кв.49.

СОДЕРЖАНИЕ

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

- Иванов А. С., Ермолаев М. М., Куралина Н. Н., Седова Л. А. — Конструирование муфт свободного хода редукторов. 3
- Абрамов И. В., Абрамов А. И., Синицын А. Н., Синицына В. В. — Влияние механической сборки на напряженно-деформированное состояние деталей соединений с натягом. 8
- Бровман М. Я. — Устойчивость системы балок при продольном изгибе. 11
- Рубин А. М. — Расчетная модель контактной задачи для узкой пластины и системы крепежных соединений. 14
- Паршин С. В., Паршин В. С. — Расчет показателя напряженного состояния металла при многооперационных процессах пластической деформации. 16
- Каргин П. А. — Перспективы применения эвольвентных передач с несимметричными профилями зубьев. 18
- Кузнецов А. П., Утенков В. М., Ширшов А. Г. — Оценка тепловых процессов в металлорежущих станках методами аналогии математических моделей физических процессов. 23
- Фершалов А. Ю., Фершалов М. Ю. — Методика определения газодинамических и конструктивных характеристик проточной части большагазовых рабочих колес малорасходных турбин. 29
- Гордеев Б. А., Охулков С. Н., Бугайский В. В., Осмехин А. Н. — Влияние остаточной магнитной индукции на амплитудно-частотные характеристики магнитоэрологических трансформаторов. 32
- Галдин Н. С., Ерёмина С. В., Курбачкая О. В. — Программно-имитационный комплекс для моделирования основных механизмов мостового крана на ранних этапах проектирования. 39
- Бардушкин В. В., Яковлев В. Б., Сычёв А. П., Сычёв А. А., Кириллов Д. А., Сорокин А. И. — Прогнозирование предельных значений прочностных показателей нетекстурированных матричных композитов с применением оператора концентрации напряжений. 42
- Ольховик Е. О., Десницкий В. В. — Исследование влияния размерной точности отливки боковой рамы тележки грузового железнодорожного вагона на ее прочность. 47
- Крюков С. А. — Шлифовальный инструмент из абразивного материала на основе составляющих разной зернистости. 49

Цикл статей

"Проблемы трибологии — трения, изнашивания и смазки"

- Клебанов Я. М., Александрова М. Ю. — Влияние контактной приспособляемости на фреттинг неподвижных соединений деталей. 52
- Фомин М. В. — Выбор посадок для опор скольжения с гидродинамическим смазыванием. 55

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

- Бахтияров Ш. А., Волков В. В., Абубекерова Ю. Н., Тудоска А. Г. — Повышение эффективности контактно-эрозионной правки алмазных кругов на металлической связке. 60
- Калашников А. С., Моргунов Ю. А., Калашников П. А. — Снижение трудоемкости сборки конических и гипоидных зубчатых передач. 63
- Агеева Е. В., Хорьякова Н. М., Агеев Е. В. — Морфология и элементный состав медных электроэрозионных порошков, пригодных к спеканию. 66
- Липатов А. А. — Адгезионные сколы твердосплавного инструмента при точении аустенитной стали. 68
- Сошко В. А. — Термомеханический эффект в зоне резания металла с поверхностно-активной жидкостью. 75
- Карпачев А. Ю., Николаев С. М. — Динамические характеристики отрезных фрез. 80

Серия статей

"Проблемы теории и практики резания материалов"

- Ходжиберген Д. Т., Есиркепов А., Шеров К. Т. — Построение рациональной схемы фрезерования металлов. 83

ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА

- Болнокин В. Е., Ивашов Е. Н., Князева М. П., Федотов К. Д. — Иерархическая структура технического моделирования с учетом экономических факторов. 85

CONTENTS

DESIGN, CALCULATION, TESTS AND RELIABILITY OF MACHINES

- Ivanov A. S., Ermolaev M. M., Kuralina N. N., Sedova L. A. — Design of free-wheeling clutches of reducers. 3
- Abramov I. V., Abramov A. I., Sinitsyn A. N., Sinitsyna V. V. — Influence of mechanical assembly on stressed-de formed state of pressure coupling parts. 8
- Brovman M. Ya. — Stability of beam system at longitudinal bending. 11
- Rubin A. M. — Design model of contact problem for narrow plate and system of fastener joints. 14
- Parshin S. V., Parshin V. S. — Analysis of stressed state factor of a metal at multi-operation plastic deformation processes. 16
- Kargin P. A. — Perspectives of application of involute gears with non-symmetrical teeth profiles. 18
- Kuznetsov A. P., Utenkov V. M., Shirshov A. G. — Estimation of thermal processes in metalworking machine tools by methods of analogy of mathematical models and physical processes. 23
- Fershalov A. Yu., Fershalov M. Yu. — Methodic of determination of gas-dynamic and structural characteristics of air-gas channel of large-step rotor wheels of low emission turbines. 29
- Gordeev B. A., Okhulov S. N., Bugai'skiy V. V., Osmekhin A. N. — Influence of residual magnetic induction on amplitude-frequency characteristics of magnetorheologic transformers. 32
- Galdin N. S., Eremina S. V., Kurbatskaya O. V. — Simulation software for modeling of principal mechanisms of bridge cranes at first stages of design. 39
- Bardushkin V. V., Yakovlev V. B., Sychev A. P., Sychev A. A., Kirillov D. A., Sorokin A. I. — Forecasting of limit values of strength characteristics of non-structured matrix composites using stress concentration operator. 42
- Ol'khovik E. O., Desnitskiy V. V. — Research of influence of dimensional accuracy of casting of bogie solebar of rail freight car on its strength. 47
- Kryukov S. A. — Grinding tool from abrasive material on the base of components of different graininess. 49

A series of articles

"Problems of tribology — friction, wearing away and lubrication"

- Klebanov Ya. M., Aleksandrova M. Yu. — Influence of contact adaptability on fretting of parts fixed joints. 52
- Fomin M. V. — Selection of fits for slider bearings with hydrodynamic lubrication. 55

MANUFACTURING ENGINEERING

- Bakhtiarov Sh. A., Volkov V. V., Abubekero Yu. N., Tudoska A. G. — Increase of effectiveness of contact-erosion dressing of diamond grinding wheels on metallic bond. 60
- Kalashnikov A. C., Morgunov Yu. A., Kalashnikov P. A. — Decrease of labor content in u assembly of bevel and hypoid gears. 63
- Ageeva E. V., Khor'yakova N. M., Ageev E. V. — Morphology and elemental composition of copper powders, made by electroerosion processing, which are suitable for sintering. 66
- Lipatov A. A. — Adhesive chips of carbide tool at turning processing of austenitic steels. 68
- Soshko V. A. — Thermomechanical effect in cutting zone of metal with surface-active liquid. 75
- Karpachev A. Yu., Nikolaev S. M. — Dynamic characteristics of cutoff cutters. 80

A series of articles

"Problems of theory and practice of materials cutting"

- Khodzhiberenov D. T., Esirkepov A., Sherov K. T. — Construction of rational scheme of metal milling. 83

ORGANIZATION AND ECONOMICS OF PRODUCTION

- Bolnokin V. E., Ivashov E. N., Knyazeva M. P., Fedotov K. D. — Hierarchical structure of engineering simulation taking into account economical factors. 85

Технический редактор Т. А. Шацкая

Корректор Т. В. Пчелкина

Сдано в набор 05.08.2014. Подписано в печать 14.09.2014.

Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 10,78.

Перепечатка материалов из журнала "Вестник машиностроения" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала; ссылка на журнал при перепечатке обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

УДК 621.315:621.01/.03

В. Е. БОЛНОКИН, Е. Н. ИВАШОВ, доктора технических наук, М. П. КНЯЗЕВА, К. Д. ФЕДОТОВ (Московский институт электроники и математики национального исследовательского университета "Высшая школа экономики"), e-mail: eivashov@hse.ru

Иерархическая структура технического моделирования с учетом экономических факторов

Рассмотрены требования к стоимости научно-технического продукта, разрабатываемого для создания образцов. Представлена иерархическая структура технико-экономического проектирования для использования при реализации процесса адаптивного поведения хозяйственных субъектов по схеме "спрос—предложение".

Ключевые слова: иерархическая структура, техническое моделирование, научно-технический продукт, адаптивное поведение, паутинообразная модель, экономические факторы.

The requirements to the cost of scientific-technical product, designed for prototype job, are considered. The hierarchical structure of engineering-and-economical design for application at implementation of process of adaptive behavior of economic agents on supply—demand scheme is presented.

Keywords: hierarchical structure; engineering simulation; scientific-technical product; adaptive behavior; cobweb model; economical factors.

Ограничения по стоимости научно-технического продукта (НТП) определяют стоимость создания образца, превышение которой указывает на нецелесообразность выполнения этих работ. Стоимость НТП складывается из стоимости научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), используемых материалов, топлива, энергии, основных фондов, трудовых ресурсов и других затрат, необходимых для выполнения соответствующих работ [1].

Стоимость НТП определяется формулой $C_{НТП} = C_m + C_{зп} + C_d + C_{с.п.}$, где C_m — материальные затраты при разработке образца; $C_{зп}$ — оплата труда; C_d — дополнительные затраты; $C_{с.п.}$ — стоимость работ, выполняемых сторонними предприятиями.

Стоимости НТП можно определять различными методами: альтернативным, предельно-результативным, интегральным, аналоговым, агрегатным.

При расчете стоимости НТП альтернативным методом главным критерием является соизмеримость пред-



(Окончание статьи. Начало см. на стр. 83)

ние обрабатываемого материала на режущие кромки. Исключается скольжение между обработанной поверхностью и фрезой, что повышает стойкость инструмента и производительность обработки.

При данной обработке в работе одновременно находятся все режущие кромки зубьев, благодаря чему процесс резания имеет равномерный характер, что исключает вибрации. Это в свою очередь значительно улучшает такие показатели качества обработки, как отклонение от плоскости и параметры шероховатости поверхности даже при обработке очень вязких материалов, сложнелегированных и жаростойких сплавов, титана и его сплавов.

Кроме того, уменьшается деформация обрабатываемого материала, так как направления главного движения и подачи совпадают, обеспечивается высокая стабильная скорость вращения фрезы. Площадь контакта инструмента со стружкой можно регулировать, изменяя угол ф.

Таким образом, фреза новой конструкции снижает энергоемкость процесса резания, увеличивает производительность обработки, улучшает качества обработанной поверхности и характеризуется высоким периодом стойкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Суннатов Б. М., Суннатов Б. М. Пластические деформации в срезаемом слое при ротационной обработке металлов // VII междунар. науч.-практ. конф. "Новейшие научные достижения". София. 2011. С. 26—29.
2. Ходжибергенов Д. Т. Влияние режимов резания на поперечную усадку стружки при многолезвийной ротационной обработке // Техника машиностроения. 2011. № 77. С. 13—16.
3. www.coromant@sandvik.com.
4. Ходжибергенов Д. Т. Особенности режущего-упрочняющего инструмента // Тяжелое машиностроение. 2013. № 3. С. 38—41.
5. Ходжибергенов Д. Т. Перспективные подходы к обработке материалов резанием // Машиностроитель. 2012. № 4. С. 37—42.
6. Ходжибергенов Д. Т. Исследование угла сдвига при ротационной обработке // Обработка металлов. 2012. № 5 (55). С. 22—27.
7. Суннатов Б. М., Ходжибергенов Д. Т. Особенности многолезвийного ротационного режущего инструмента // VII междунар. науч.-практ. конф. Польша. 2011. С. 22—27.

полагаемых затрат, необходимых при его создании, с затратами, требующимися для усовершенствования уже существующих аналогичных продуктов. При этом обязательным является совпадение множеств выполняемых ими задач. Для этого необходимо проанализировать возможности нового продукта [1].

При установлении стоимости НТП разными методами используют разные определяющие критерии:

при предельно результативном методе критерием являются затраты на разработку и изготовление образцов, которые определяются по статистическим данным;

при интегральном методе ассигнования на разработку с учетом закупок установленного числа образцов не должны превышать суммарные лимиты ассигнования;

при аналоговом методе полная стоимость разработки образца должна соответствовать уровню затрат на разработку его аналога с учетом отличия применяемой элементной базы и условий работы;

при агрегатном методе стоимость разработки образца не должна превышать предельную суммарную стоимость эскизного и технического проектирования, разработки конструкторской документации, изготовления и отладки опытного образца.

Предельную стоимость на математическое обеспечение (МО) определяют по формуле

$$C_{MO} = C_K N_{op} + C_K \left(\frac{100 - \sum_{i=1}^n X_i}{100} \right) N_3,$$

где C_K — стоимость разработки одной команды, определенная по нормам на трудозатраты в соответствии с установленным на предприятии порядком; N_{op} — число разрабатываемых оригинальных команд; N_3 — число заимствованных команд; n — число этапов разработки МО, предшествующих этапу, на котором происходит заимствование программного обеспечения [1]; X_i — коэффициент, определяемый этапом разработки программ: техническое задание — 5; блок-схема — 10; программирование — 15; транслятор — 3; автономная отладка — 24; комплексная отладка — 25; стыковка программ — 2; документирование — 6; опытная эксплуатация — 8; корректировка — 2.

В общем виде иерархическую структуру технико-экономического проектирования можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{extr} F(X, F) = & \left\{ \left\{ \left\{ f_{j_i j_{i-1}}^{k_{j_i}} (X_{j_i j_{i-1}}), \varphi_{j_{i-1} j_{i-2}}^{l_{j_{i-1}}} (X_{j_i j_{i-1}}, \right. \right. \right. \\ & \left. \left. X_{j_{i-1} j_{i-2}}, Y_{j_{i-1} j_{i-2}} \right), k_{j_i} = 1, \dots, K_{j_i}, l_{j_{i-1}} = 1, \dots, L_{j_{i-1}} \right\} \\ & \left. j_i = 1, \dots, M_{i, j_{i-1}} \right\} j_{i-1} = 1, \dots, M_{i-1} \Big\} i = 1, \dots, I; \\ G(X, Y) \leq B, & C_{j_{i-1}} (X_{j_i j_{i-1}}, X_{j_{i-1} j_{i-2}}, Y_{j_{i-1} j_{i-2}}) \leq B_{j_{i-1}}; \end{aligned}$$

$$\left\{ G_{j_i j_{i-1}} (X_{j_i j_{i-1}}) \leq B_{j_i j_{i-1}}, j_i = 1, \dots, M_{i, j_{i-1}} \right\} \\ j_{i-1} = 1, \dots, M_{i-1};$$

$$X_{j_i j_{i-1}} \subset X_{j_{i-1}} \subset X, j_i = 1, \dots, M_{i, j_{i-1}}, j_{i-1} = 1, \dots, M_{i-1};$$

$$X_{j_i j_{i-1}} = \varphi_{j_i j_{i-1}} (X_{j_{i-1}}), X_{j_{i-1} j_{i-2}} \cap Y_{j_{i-1} j_{i-2}} = \emptyset.$$

Здесь i — индекс уровня ЛПР (индекс уровня модели); I — множество индексов уровней моделей; j_i — индекс модели i -го уровня; M_i — множество индексов моделей i -го уровня; j_i, j_{i-1} — индекс модели i -го уровня, подчиненной j_{i-1} -й модели $(i-1)$ -го уровня; X — множество всех переменных всех моделей; Y — множество агрегатных состояний; $X_{j_{i-1}}$ — множество переменных моделей i -го уровня, подчиненных j_{i-1} -й модели $(i-1)$ -го уровня; $X_{j_i j_{i-1}}$ — вектор переменных j_i -й модели i -го уровня, подчиненной j_{i-1} -й модели $(i-1)$ -го уровня; $X_{j_{i-1} j_{i-2}}$ — вектор переменных j_{i-1} -й модели $(i-1)$ -го уровня, подчиненной j_{i-2} -й модели $(i-1)$ -го уровня; $Y_{j_{i-1} j_{i-2}}$ — множество переменных j_{i-1} -й модели $(i-1)$ -го уровня, не принадлежащих множеству X ; $f_{j_i j_{i-1}}^{k_{j_i}}$ — k_{j_i} -й показатель выбора моделей i -го уровня, подчиненных j_{i-1} -й модели $(i-1)$ -го уровня; K_{j_i} — множество индексов показателей выбора моделей i -го уровня, подчиненных j_{i-1} -й модели $(i-1)$ -го уровня; $\varphi_{j_{i-1} j_{i-2}}^{l_{j_{i-1}}}$ — $l_{j_{i-1}}$ -й показатель выбора j_{i-1} -й модели $(i-1)$ -го уровня, не принадлежащий множеству показателей моделей i -го уровня; L_{j_i} — множество индексов таких показателей; $G(X, Y)$ — общие ограничения для всех моделей; $G_{j_i j_{i-1}} (X_{j_i j_{i-1}})$ — ограничения на модели i -го уровня, подчиненные j_{i-1} -й модели $(i-1)$ -го уровня; $G_{j_{i-1}} (X_{j_i j_{i-1}}, X_{j_{i-1} j_{i-2}}, Y_{j_{i-1} j_{i-2}})$ — ограничения на j_{i-1} -ю модель $(i-1)$ -го уровня.

Отметим некоторые соотношения между введенными понятиями:

$$M_{i, j_{i-1}} \in M_i, \bigcup_{j_{i-1}}^{M_{i-1}} M_{i, j_{i-1}} = M_i, M_{i-1} = M_{i-1, j_{i-2}};$$

$$X_{j_{i-1}} = \bigcup_{j_i} X_{j_i j_{i-1}};$$

$$\left\{ f_{j_{i-1} j_{i-2}}^{k_{j_{i-1}}} \right\} = \left\{ f_{j_i j_{i-1}}^{k_{j_i}} \right\} \cup \left\{ \varphi_{j_{i-1} j_{i-2}}^{l_{j_{i-1}}} \right\}.$$

Одноуровневая и двухуровневая модели являются частными случаями построенной иерархической модели [2].

Одноуровневая модель принятия решений соответствует одному ЛПР (локальный выбор эффективных реше-

ний), которая из общей модели получается фиксированием индекса j_i :

$$\text{extr} \left\{ F_{j_i j_{i-1}} (X_{j_i j_{i-1}}) = \left\{ f_{j_i j_{i-1}}^{k_{j_i}} (X_{j_i j_{i-1}}) \right\} \right. \\ \left. k_{j_i} = 1, \dots, K_{j_i j_{i-1}} \right\};$$

$$G(X, Y) \leq B, G_{j_i j_{i-1}} (X_{j_i j_{i-1}}) \leq B_{j_i j_{i-1}}.$$

Двухуровневая модель получается из общей модели, фиксированием индекса некоторой модели $(i-1)$ -го уровня при рассмотрении всех подчиненных ей моделей. В этом случае имеем следующее формальное представление [2]:

$$\text{extr} F(X, Y) = \text{extr} F_{j_{i-1}} (X, Y) = \left\{ \left\{ f_{j_{i-1}}^{k_{j_i}} (X_{j_i j_{i-1}}), \right. \right. \\ \left. \left. \varphi_{j_{i-1} j_{i-2}} (X_{j_i j_{i-1}}, X_{j_{i-1} j_{i-2}}, Y_{j_{i-1} j_{i-2}}), k_{j_i} = 1, \dots, K_{j_i}, \right. \right. \\ \left. \left. l_{j_{i-1}} = 1, \dots, L_{j_{i-1}} \right\} j_i = 1, \dots, M_{i j_{i-1}} \right\}; \\ G(X, Y) \leq B, C_{j_{i-1}} (X_{j_i j_{i-1}}, X_{j_{i-1} j_{i-2}}, Y_{j_{i-1} j_{i-2}}) \leq B_{j_{i-1}}; \\ \{ G_{j_i j_{i-1}} (X_{j_i j_{i-1}}) \leq B_{j_i j_{i-1}}, j_i = 1, \dots, M_{i j_{i-1}} \}; \\ X_{j_i j_{i-1}} = \varphi_{j_i j_{i-1}} (X_{j_{i-1}}).$$

Предложенную иерархическую структуру технико-экономического проектирования можно использовать при реализации процесса адаптивного поведения хозяйственных субъектов по схеме "спрос—предложение".

Наиболее известным примером основных предположений по адаптивному поведению хозяйственных субъектов является паутинообразная модель рыночного равновесия, реализующая процесс "нащупывания" равновесной цены [3]. Эта динамическая модель получена из статической модели спроса и предложения.

Предположим, что предложение S реагирует на изменение цены p с лагом в один период, в то время как спрос D определяется ценой и обе эти зависимости линейны: $D_t = a + bp_t$; $S_t = a_t + b_t p_{t-1}$.

Возникает вопрос, почему предложение ведет себя подобным образом?

Во-первых, модель относится к продукции, которая не производится мгновенно — требуется фиксированный промежуток времени, совпадающий по величине с дискретном времени.

Решающим ограничением является то, что производители считают, что цена, установленная в начале периода, не изменится за все время периода и является основой для выбора объемов производства в следующем периоде.

Существенным предположением модели является очистка рынка. В каждом периоде рынок устанавливает такую цену, при которой спрос поглощает весь объем предложения, т. е. нет поставщиков с непроданным товаром и потребителей с неудовлетворенным спросом. Следовательно, можно записать: $D_t = S_t$, $bp_t - b_t p_{t-1} = a_1 - a$.

Тогда общее решение соответствующего однородного уравнения имеет вид: $A(b_1/b)^t$, а частное решение: $p_e = (a_1 - a)/(b - b_1)$. Предположим, что p_0 известно, тогда $A = p_0 - p_e$ и общее решение имеет вид:

$$p_t = (p_0 - p_e)(b_1/b)^t + p_e. \quad (1)$$

В этом случае частное решение получает экономическую интерпретацию статической цены равновесия. Из уравнения (1) видно, что если начальное значение цены p_e установлено, то $p_t = p_e$, т. е. цена фиксируется на уровне p_e (естественно, что никакие экзогенные возмущения не возникают). Это означает, что наблюдается статическое равновесие.

Другой способ проверить это утверждение — проанализировать поведение цены в соответствии с уравнением (1).

Как правило, график спроса имеет отрицательный угол наклона ($b \leq 0$), а предложения — положительный. Таким образом, $b_1/b \leq 0$ и цена будет колебаться вокруг своего равновесного значения. Эти периодические колебания могут осуществляться с постоянно увеличивающимся или уменьшающимся периодом в зависимости от соотношения $|b_1| \Leftrightarrow |b|$ (символ $\Leftrightarrow$ означает меньше, равно или больше), т. е. в зависимости от того, превосходит ли угол наклона кривой спроса угол наклона кривой предложения.

Как видно из уравнения (1), условие стабильности, при котором цена сходится (не важно каким образом) к равновесному значению, в любом случае $|b_1/b| \leq 1$, т. е. $|b_1| \leq |b|$.

В паутинообразной модели точка равновесия стабильна, если угол наклона кривой спроса больше, чем угол наклона кривой предложения.

Эта теорема описывает лишь стабильность паутинообразной классической модели, но не гарантирует того, что для модели, содержащей некоторые дополнительные условия, условия стабильности останутся теми же.

Рассуждения, опирающиеся на предположения о неизменности уровня рыночных цен, используемые для планирования уровня продаж, на практике, как правило, оказываются неправомерными. Способ совершенствования паутинообразной модели — использование адаптивных ожиданий [4]. Планы, которые принимаются в каждый данный период, зависят не только от текущих цен, но и от ожидания будущих цен. Эти ожидания будем толковать, как правило, однозначно и жестко, полагая, что у каждого индивида складываются определенные представления о том, какой будет цена товара в том или ином периоде. Разумеется, такое предположение чрезвычайно жестко. В действительности оно неправомерно по двум причинам.

Во-первых, ожидания людей зачастую не связаны с условиями рынка (например с изменениями спроса). Это может быть справедливым для условий монополии, так что предположение о существовании точных ценовых ожиданий служит только частичным выражением посылок о совершенной конкуренции, которой мы придерживались в ходе всего исследования.

Во-вторых, у людей вряд ли вообще могут сформироваться точные ожидания, что еще важнее. Они не пред-

полагают, что цена, по которой можно будет продавать определенную продукцию, в будущем окажется высокой, считая, что, вероятнее всего, установится определенная цена (или несколько цен), от которой однако возможны отклонения в той или иной степени. Появляется затруднение, к которому следует относиться очень серьезно.

При обсуждении вопроса о том, чем определяется принимаемый в итоге план, следует представить, что данный индивид выбирает между разными линиями поведения, которые приводят к определенному результату с неодинаковой вероятностью. Если даже самая вероятная из ожидаемых в будущем в каком-либо периоде цена сохраняется неизменной, готовность индивида принять план, согласно которому в этом периоде должна быть совершена продажа или покупка, может оказаться под сомнением. Например, он потеряет уверенность в том, что цена все-таки установится на предполагаемом уровне, если увеличится разброс ее возможных значений. Можно полагать, что увеличение этого разброса приведет к уменьшению готовности индивида разрабатывать планы, в соответствии с которыми в определенном периоде должны совершаться продажи или покупки.

Если это так, то увеличение разброса в значениях цены приведет к таким же последствиям, что и снижение ожидаемой цены в случаях, когда индивид планирует продажу, или повышение ожидаемой цены в случаях, когда он планирует покупку. Обсуждая все проблемы, связанные с факторами, определяющими планы при необходимости допустить неопределенность ожиданий, следует считать самое вероятное значение цены не репрезентативной ожидаемой ценой, а суммой наиболее вероятных цен плюс-минус поправка на неопределенность ожиданий (или на риск): $p_t^e - p_{t-1}^e = \beta(p_{t-1} - p_{t-1}^e)$, где $\beta < 1$.

Предположим формально, что ожидается установление тех или иных точных цен, т. е. у людей формируются точные ценовые ожидания. Но будем готовы к тому, чтобы интерпретировать эти определенные ожидания как особые величины, которые наилучшим образом отражают условия неопределенности действительных ожиданий.

Запишем: разностное уравнение $p_t^e - (1 - \beta)p_{t-1}^e = \beta p_{t-1}$; общее решение соответствующего однородного уравнения $P_t^e = A(1 - \beta)^t$ и соответствующее частное решение $p_t^e = \beta \sum_{i=0}^{\infty} (1 - \beta)^i p_{t-1-i}$.

Общее решение первого уравнения имеет вид: $p_t^e = A(1 - \beta)^t + \beta \sum_{i=0}^{\infty} (1 - \beta)^i p_{t-1-i}$, где величиной $A(1 - \beta)^t$ можно пренебречь для существенно больших t . Это означает, что ожидаемая цена представляет собой средневзвешенную величину с убывающими во времени весами всех наблюдавшихся цен.

Так как $S_t = a_1 + b_1 p_t^e$, $S_{t-1} = a_1 + b_1 p_{t-1}^e$, то $p_t^e = (S_t - a_1)/b_1$, $p_{t-1}^e = (S_{t-1} - a_1)/b_1$, тогда получим:

$$(S_t - a_1)/b_1 = (1 - \beta)(S_{t-1} - a_1)/b_1 + \beta p_{t-1}, \text{ откуда}$$

$$S_t = (1 - \beta)S_{t-1} + a_1^\beta + b_1^\beta p_{t-1}.$$

Поскольку $D_t = S_t$ для всех t по условию, а в $D_t = a + b p_t$, то вместо S_t и S_{t-1} можно подставить $a + b p_t$ и $a + b p_{t-1}$, следовательно, получим:

$$p_t - [(b_1/b - 1)\beta + 1]p_{t-1} = (a_1 - a)\beta/b.$$

Частное решение последнего уравнения — цена равновесия. Общее решение соответствующего однородного уравнения: $p_t = A[(b_1/b - 1)\beta + 1]$.

Таким образом, общее решение: $p_t = A[(b_1/b - 1)\beta + 1] + p_e$, где $A = p_0 - p_e$ — начальное отклонение.

Условие стабильности: $|(b_1/b - 1)\beta + 1| \leq 1$, т. е. $-1 \leq (b_1/b - 1)\beta + 1 \leq 1$, $-2 \leq (b_1/b - 1)\beta \leq 0$, получим: $1 - 2/\beta \leq b_1/b \leq 1$.

Если учесть первоначальное условие стабильности теоремы о рыночном равновесии $|b_1/b| \leq 1$, получим:

$$-1 \leq b_1/b \leq 1. \quad (2)$$

Так как имеем $0 \leq \beta \leq 1$, то получим: $2/\beta \geq 2$.

Таким образом, имеем:

$$1 - 2/\beta \leq -1. \quad (3)$$

Следовательно, неравенство (2) менее строгое, чем неравенство (3). Поэтому использование адаптивных ожиданий делает модель более стабильной. Применение адаптивных ожиданий является одним из классических приемов стабилизации траектории динамической системы. Однако важен и тот факт, что не все динамические системы одинаково реагируют на введение этой стратегии управления. Известны случаи, когда адаптивные ожидания оказывались недостаточно рациональными для совершенствования механизмов управления и приводили к обратному результату — снижению стабильности в результате сужения интервалов.

Таким образом, введение адаптивных ожиданий в паутинообразную модель рынка является недостаточно эффективным, так как это не всегда может адекватно отобразить процесс установления равновесной цены. Наиболее удачным приемом повышения степени адекватности этой модели является введение в нее генетических алгоритмов [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. **Смирнов С. А.** Оценка интеллектуальной собственности: М.: Финансы и статистика, 2002. 352 с.
2. **Системный анализ:** Проектирование, оптимизация и приложения / А. Н. Антамошкин, М. Воловик, В. Ганженко. Т. 2. Красноярск: Сибирская аэрокосмическая академия, 1996. 290 с.
3. **Акоф Р. Л., Сасиени М.** Основы исследования операций / Под ред. И. А. Ушакова. М.: Мир, 1971. 203 с.
4. **Разумихин Б. С.** Физические модели и методы теории равновесия в программировании и экономике. М.: Наука, 1975. 304 с.
5. **Болнокин В. Е., Хо Д. Лок.** Адаптивное управление на базе нечетких регуляторов и нейросетевой технологии. Воронеж: Научная книга, 2012. 280 с.