



## УПРАВЛЕНИЕ

УДК 332.5

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЕЕ ДИНАМИКИ

**С. Ф. Нахов**

директор, главный конструктор,  
Филиал Научно-производственного центра автоматизации и приборостроения  
им. академика Н. А. Пилюгина – Производственное объединение «Корпус»  
E-mail: po\_korpus@forpost.ru

**П. К. Плотников**

профессор кафедры «Приборостроение»,  
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.  
E-mail: plotnikovpk@mail.ru

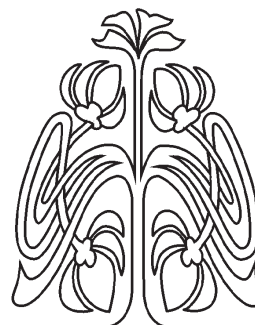
**А. П. Плотников**

профессор кафедры «Прикладная экономика и управление инновациями»,  
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.  
E-mail: arcd1@ya.ru

**Введение.** Несмотря на то что методика оперативного планирования деятельности промышленных предприятий является широко известной и отработанной, сохраняется проблема выбора оптимальной продолжительности периода планирования с учетом системы факторов, влияющих на деятельность предприятия. В статье предлагается собственный подход к определению периода планирования, основанный на математической интерпретации динамики производственно-экономической деятельности предприятия. **Теоретический анализ.** В теории управления (техническими устройствами и системами) различают виды движения: собственное (движение при отсутствии внешних воздействий, порождаемое внутренними свойствами устройств и систем и возмущениями начальных условий) и вынужденное (движение, вызываемое внешними воздействиями). **Методы.** В статье ставится задача исследования в основном собственной динамики приборостроительного предприятия (ПП) на основе реальных данных его работы. Рассматриваются два квартала работы: 4-й квартал 2013 г. и 1-й квартал 2014 г. Учитывается, что изменения планов производятся ступенчато в начале каждого месяца по результатам предыдущего, и до конца месяца они и другие условия работы ПП не меняются. Тем самым вносится ступенчатая обратная связь в управление производством, и, таким образом, ступенчатое воздействие на производство вносится только в начале месяца, а затем не меняется до начала следующего. **Результаты.** В итоге установлена корреляция между практически произведенной продукцией и ее планом (по их разности –  $\Delta x$ ), характеризующая негармоническим колебательным процессом неравномерности  $\Delta x$  выполняемой работы. Экспериментальные графики  $\Delta x$  описаны математически, даются компьютерные расчеты, свидетельствующие о близких значениях расчетных и фактических процессов по неравномерности производства продукции  $\Delta x$  ПП. **Выводы.** Предложенный в статье подход позволил построить простой алгоритм прогнозирования выпуска изделий, а также простой алгоритм управления работой ПП, позволяющий в 2–3 раза снизить колебательную составляющую неравномерности выпускаемой продукции.

**Ключевые слова:** приборостроительное предприятие, динамика производственно-экономической деятельности, математическая интерпретация, планирование, период планирования, период колебания, неравномерность, обратная связь, алгоритм.

DOI: 10.18500/1994-2540-2015-15-3-285-290



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





## Введение

Несмотря на то что методика оперативного планирования деятельности промышленных предприятий является широко известной и отработанной, сохраняется проблема выбора оптимальной продолжительности периода планирования с учетом системы факторов, влияющих на деятельность предприятия. В данной статье предлагается собственный подход к определению периода планирования, основанный на математической интерпретации динамики производственно-экономической деятельности предприятия.

## Теоретический анализ

В теории управления (техническими устройствами и системами) различают виды движения: собственное (движение при отсутствии внешних воздействий, порождаемое внутренними свойствами устройств и систем и возмущениями начальных условий) и вынужденное (движение, вызываемое внешними воздействиями). По аналогии будем различать собственную и вынужденную динамику производственно-экономической деятельности приборостроительного предприятия (ПП). Динамика – это процесс изменения координат пространства состояния во времени для устройства или системы, а для ПП, соответственно, показателей его производственно-экономической деятельности. Вынужденная динамика вызвана воздействиями внешних факторов – изменением финансирования и плана ПП в силу изменения рыночной среды, спроса, объема заказов, задержками в поставке материалов, энергоресурсов и т.д., а собственная определяется, при относительно неизменных внешних воздействиях, собственными свойствами и взаимодействиями внутренних факторов ПП.

Значительное внимание в научной литературе по ПП уделяется исследованию первой составляющей динамики ПП или отрасли, что отображено, в частности, в статье [1]. В несколько меньшей мере изучается собственная динамика (это не относится к литературе по управлению техническими системами [2, 3], где исследуются оба компонента динамики). В качестве других примеров собственной динамики предприятия можно сослаться на [4]. Примеры собственной и вынужденной динамики имеются в работах [5, 6]. В настоящей статье ставится задача исследования в основном собственной динамики ПП на основе реальных данных его работы. Рассматриваются два квартала работы: 4-й квартал 2013 г. и 1-й квартал 2014 г. Учитывается, что изменения планов производятся ступенчато в начале каждого месяца по результатам предыдущего и до конца месяца они и другие условия работы ПП

не меняются. Тем самым вносится ступенчатая обратная связь в управление производством [4, 6], и, таким образом, ступенчатое воздействие на производство вносится только в начале месяца, а затем не меняется до начала следующего.

Ставится задача сопоставления данных по росту одной и той же выполненной работы, учитываемой с различными интервалами осреднения: месяц, декада, 7,5 дня, 5 дней. При анализе использования различных дискретных интервалов времени показывается, что 5-дневная дискретность учета выполненной работы позволяет адекватно описать собственную динамику работы ПП.

## Методы

Динамика технико-экономической деятельности ПП характеризует его способность наращивать темп и объем производства продукции в соответствии с планом развития, возрастающими требованиями к конкурентоспособности на внутреннем и международном рынках и т.д.

Отметим, что денежный эквивалент производимой ПП продукции по себестоимости определяется по формуле

$$M = N \times X, \quad (1)$$

где  $M$  – себестоимость произведенной продукции;  $N$  – себестоимость единицы произведенной продукции (у.е./шт.);  $X$  – количество (объем) произведенной продукции (шт.).

Далее производится анализ производственной деятельности одного из ПП г. Саратова в 4-ом квартале 2013 г. и 1-ом квартале 2014 г., что отражено на графиках рис. 1–4.

На графиках рис. 1–4 приняты обозначения:

$X$  – плановый выпуск продукции в условных денежных единицах (у.е.);  $x^*$  – суточный план, у.е./сутки;  $t$  – время,  $X_{исх}$  – график исходного плана;  $X_{ск}$  – график скорректированного плана; далее – графики:

$X_5$  – фактического выполнения, осреднение за 5 дней;

$X_{7,5}$  – фактического выполнения, осреднение за 7,5 дней;

$X_{10}$  – фактического выполнения, осреднение за 10 дней;

$X_{30}$  – фактического выполнения, осреднение за 30 дней;

$\Delta x$  – неравномерности выпуска продукции:

$$\Delta x = X_5 - X_{30}; \quad (2)$$

$x^*$  – план суточного выпуска продукции:

$$x^* = X/n, \quad (3)$$

где  $n$  – число рабочих дней в месяце,

$\delta x^*$  – относительное изменение исходного плана при его корректировке:



$$\delta x^* = \frac{l \cdot x^*}{X_l} * 100\% ; l = 5; 7,5; 10; 30. \quad (4)$$

На рис. 1 и 2 представлена динамика производства ПП в 4-м квартале 2013 г. и 1-м квартале

2014 г., при этом рис. 2 отображает изменение картины колебаний фактического выполнения  $X$  стоимости продукции при изменении интервалов (дискретизации) осреднения от 5 дней ( $X_5$ ) до месяца ( $X_{30}$ ).

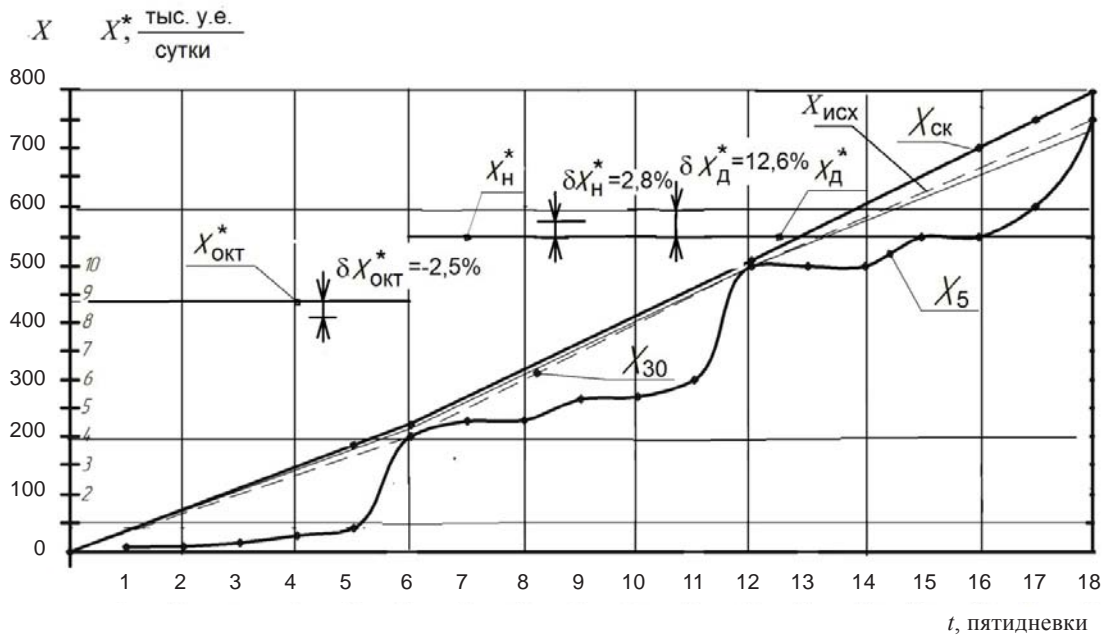


Рис. 1. Динамика выпуска продукции ПП в 4-м квартале 2013 г.

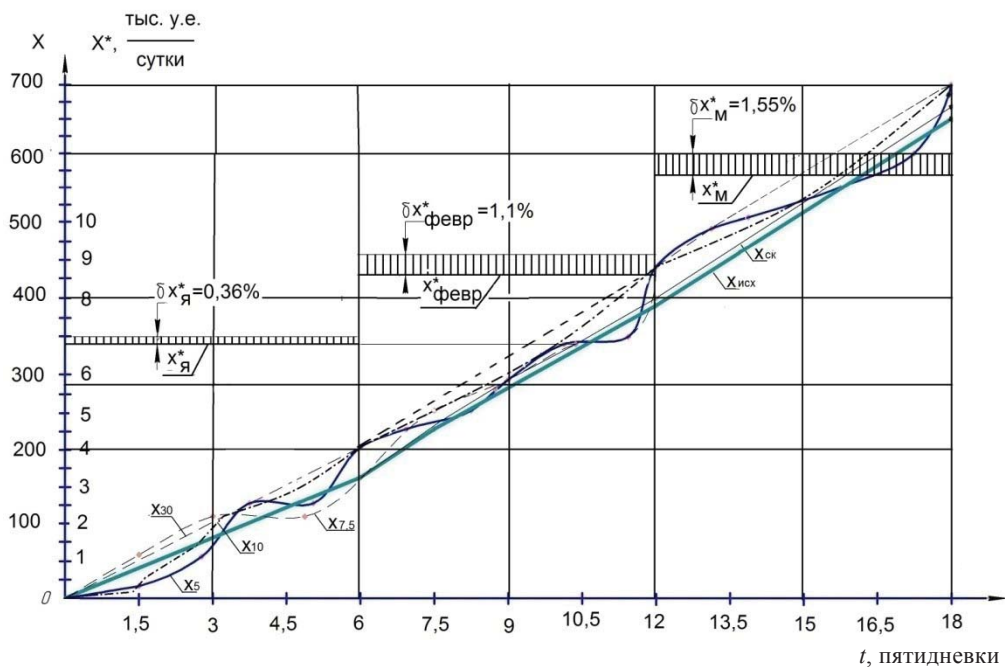


Рис. 2. Динамика выпуска продукции ПП в 1-м квартале 2014 г.

Нетрудно видеть, что при месячном интервале осреднения  $X_{30}$  имеет вид ломаной линии, состоящей из трех месячных прямых линий,

подобно данным в работе [1]. В ней, прежде всего, отображены процессы вынужденной динамики. На графиках  $X_{10}$ ,  $X_{7,5}$  появились не-



которые колебания, на кривой  $X_5$  эти колебания видны достаточно четко. Поэтому график  $X_5$  более адекватно отображает истинную картину выпуска изделий ПП, чем при других интервалах дискретизации. График  $X_5$  (см. рис. 1) построен с учетом 5-дневной дискретности осреднения. Неравномерность выпуска продукции в 4-м квартале 2013 г., определенная по формуле (4), для данного случая имеет вид  $X_5 - X_{30} = \Delta x$ .

График неравномерности фактического выполнения плана изображен на рис. 3. Из него следует, что колебания – периодические со смещением, равным 60 тыс. у.е. Амплитуда основной гармоники колебаний  $\approx 60$  тыс. у.е, период –

30 суток. Падающие участки колебаний  $T_i'$  примерно вдвое превосходят по длительности возрастающие участки ( $T_i''=1,2,3$ ). Сопоставляя начала периодов колебаний ( $T_1^i + T_2^i$ ) с началом периодов изменений планов, приходим к выводу, что они являются источником этих колебаний. Поскольку ПП предпринимает все меры для выполнения плана к концу каждого месяца, то оно устраняет имеющиеся отклонения, и они отсутствуют к началу каждого месяца. Графики для  $\Delta x_i^*$  ( $i = \text{октябрь, ноябрь...}$ ) свидетельствуют, что в управлении ПП используются обратные связи (ОС), причем из 6 месяцев в 5 случаях имеет место положительная, а в одном – отрицательная ОС.

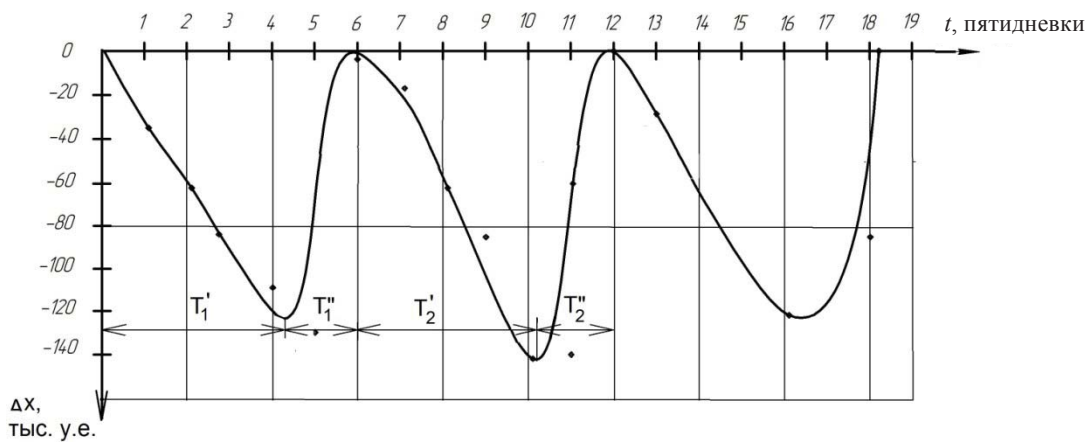


Рис. 3. График неравномерности фактического выполнения плана ПП в октябре–декабре 2013 г.

Ниже приводится математическое приближенное описание графика рис. 3:

$$\Delta X^M = -\frac{A}{a} * (a - \sin(\omega * t + \frac{\pi}{3})) - \frac{k}{a} * \sin(2 * (\omega * t + \frac{\pi}{3})), \quad (5)$$

где  $A$  – амплитуда колебаний;  $\omega$  – частота колебаний неравномерности выпуска изделий, причем  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  ( $T = 30$  суток);  $a, k$  – коэффициенты корректировки амплитуды и симметрии неравномерности колебаний, причем  $a = 1,1; k = 0,2$ .

На рис. 4 даны графики фактического и расчетного по (5) значений неравномерности выпуска продукции, показывающие приемлемую точность математического описания процесса. В случае, когда колебания близки к гармоническим, для описания графика может быть использовано дифференциальное уравнение вида

$$\frac{d^2 \Delta x}{dt^2} + \Omega_0^2 * \Delta x = -\Omega_0^2 * A, \quad (6)$$

где  $\Omega_0 = 2\pi/T$  – частота собственных недемпфированных колебаний;  $T$  – период указанных колебаний;  $\Delta x$  – моделируемая (расчетная) ордината.

### Результаты

Математическое описание (аппроксимация) для производственных графиков позволяет сформировать алгоритм прогнозирования, например, на интервале времени от 1 апреля до 31 декабря 2014 г.:

$$X_{prog} = \int_{t_0}^t \Delta x_{cp} dt + \Delta x(t). \quad (7)$$

Здесь  $\Delta x_{cp}$  – осредненное значение неравномерности  $\Delta x(t)$  за предыдущий квартал. Далее используется текущее и прогнозируемое время. Можно построить и алгоритм учета произведенной продукции с учетом введенного управления  $U$ :

$$X_1 = \int_{t_0}^t \Delta x_{cp}(t) dt + \Delta x(t) + U \quad (8)$$

$$U = -k \cdot x^M,$$

где  $k = 0.5-0.75, x^M$  – оценка неравномерности выпуска продукции, определенная по соотношениям (5) или (6). В результате применения этого управляющего алгоритма для  $U$  амплитуда колебательной составляющей неравномерности выпуска продукции снизится в 2–3 раза. В ито-



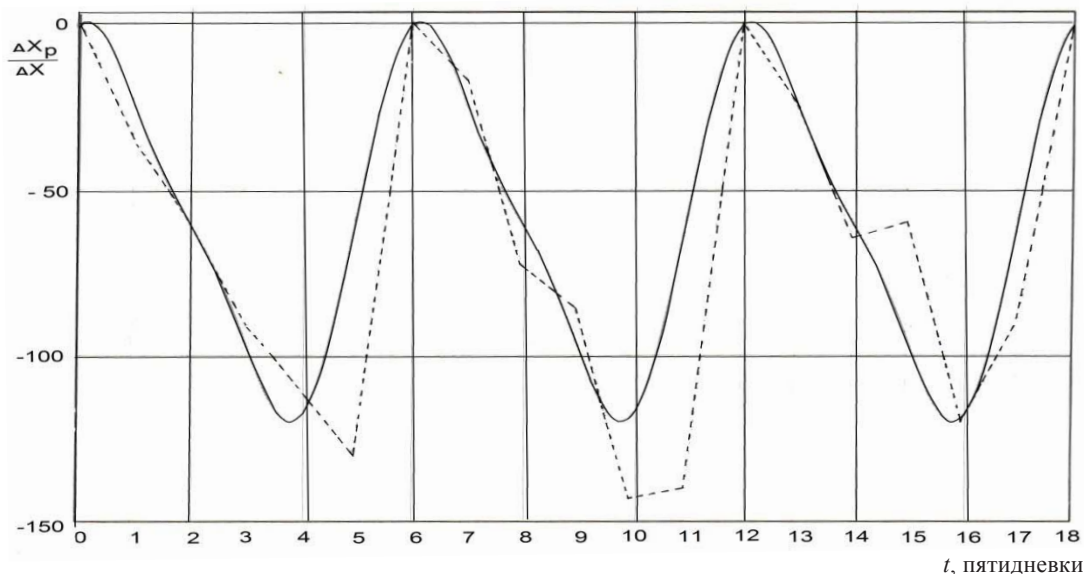


Рис. 4. Экспериментальный и расчетный графики неравномерности выпуска продукции

ге установлена корреляция между практически произведенной работой и ее планом (по их разности –  $\Delta x$ ), характеризуемая негармоническим колебательным процессом неравномерности  $\Delta x$  выполняемой работы. Экспериментальные графики  $\Delta x$  описаны математически, даются компьютерные расчеты, свидетельствующие о близких значениях расчетных и фактических процессов по неравномерности производства продукции  $\Delta x$  ПП. Дается сопоставление вынужденной и собственной динамики ПП. Построены простые алгоритмы прогнозирования и управления по выпуску продукции.

### Выводы

1. Разработка, оценка выполнения и корректировка планов на данном ПП осуществляются по месяцам. На основе этих данных может быть оценена динамика изменения показателей за период 6–12 месяцев. Анализ свидетельствует, что исходный и скорректированный планы по месяцам – линейно-нарастающие (см. рис. 1, 2). Но в началах месяцев они корректируются – вводятся либо положительная ( $\delta x^* > 0$ ) либо отрицательная ( $\delta x^* < 0$ ), обратные связи в систему управления ПП.

2. Примененная оценка деятельности ПП по пятидневкам позволила выявить собственную динамику его работы в течение каждого месяца (см. рис. 1, 2), а именно: наличие нарастающего колебательного характера фактического производства продукции с периодом 1 месяц и амплитудой 50 тыс. у.е. (4-й квартал 2013 г.) и 25 тыс. у.е. (1-й квартал 2014 г.). На указанных

интервалах колебания являются нелинейными, незатухающими. И это согласуется с подобным характером производственных показателей по книге Д. Форрестера «Основы кибернетики предприятия» [4]. Отличие в том, что в статье приведены данные реального предприятия, т.е. истинные. Период колебаний – месяц. Периоды гармонических линейных колебаний у Д. Форрестера – 0,5–1 год – получены путем математического моделирования.

3. Фактические (скорректированные) суточные планы производства от месяца к месяцу изменяются. Они могут быть оценены по формуле

$$x_i^* = \frac{X_i}{n_i},$$

где  $X_i$  – месячный план,  $i$  – месяц (октябрь, ... март),  $n_i$  – число рабочих дней в  $i$ -ом месяце. Относительное изменение плана определяется по формуле

$$\delta x_n^* = \frac{x_{\text{скорр}}^* - x_{\text{исх}}^*}{x_{\text{скорр}}^*},$$

где  $x_{\text{скорр}}^*$ ,  $x_{\text{исх}}^*$  – скорректированный и исходной суточные планы.

На рис. 1, 2 показаны:  $x_i^*$  – в тыс. у.е./сутки;  $\delta x_i^*$  – корректировки планов (обратные связи!) в процентах. Они являются ступенчато-изменяющимися. Каждая ступенька имеет месячную длительность, при которой условия работы ПП считаются неизменными. Имеем дело с собственной его динамикой. Переход от плана предыдущего месяца к последующему отражает и вынужденную динамику. Как в технике и теории управления, они взаимосвязаны.



4. С точки зрения общей теории автоматического управления ступенчатое воздействие на входе динамической системы вызывает переходный процесс. В данном ПП он является колебательным. В конце года план ПП выполняется с высокой точностью [1].

5. Колебания  $\Delta x$  свидетельствуют о наличии неритмичности в работе предприятия – либо за счет перебоев внутривозовских поставок комплектующих изделий, либо за счет простоев и т.д. Показано, что для уменьшения  $\Delta x$  корректировки планов лучше делать по 5-дневкам и на большие значения  $K_{oc}$ , т.е. ОС следует делать более глубокими. Видимо, суточная дискретизация данных о выпуске готовых изделий с точки зрения эффективности управления будет лучше. Однако это будет сопряжено со значительным увеличением расчетов и других работ.

### Список литературы

1. *Нахов С. Ф.* Совершенствование экономического анализа деятельности государственного инновационного предприятия на основе принципа обратной связи // *Инновационная деятельность*. 2013. № 3. С. 24–32.
2. *Красовский А. А., Поспелов Г. С.* Основы автоматизации и технической кибернетики. М.: Госэнергоиздат, 1962. 600 с.
3. *Бабиков И. М.* Теория колебаний. М.: Наука, 1965. 559 с.
4. *Форрестер Д.* Основы кибернетики предприятия. М.: Прогресс, 1971. 325 с.
5. *Сиразетдинов Т. К.* Динамическое моделирование экономических объектов. Казань: ФЕН, 1996. 224 с.
6. *Плотников А. П.* Развитие методологии управления инновационной деятельностью на основе принципа обратных связей // *Вестн. СГТУ*. 2008. № 3. С. 32–38.

### The Improvement of Operational Planning Activities of Instrument-making Enterprise on the Basis of the Mathematical Interpretation of its Dynamics

#### S. F. Nahov

Branch of Scientific-production Center of Automation and Instrument Engineering Academician N. A. Pilyugin – Production Association «Building»  
1, Osipova str., Saratov, 410019, Russia  
E-mail: po\_korpus@forpost.ru

#### P. K. Plotnikov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,  
77, Politechnicheskaya str., Saratov, 410054, Russia  
E-mail: plotnikovpk@mail.ru

#### A. P. Plotnikov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,  
77, Politechnicheskaya str., Saratov, 410054, Russia  
E-mail: arcd1@ya.ru

**Introduction.** Despite the fact that the methodology of operational planning of industrial activities is a widely known and proven, there remains the problem of choosing the optimal length of the planning period, taking into account the system of factors affecting the activity of the enterprise. In article the author's approach to the determination of the planning period, based on the mathematical interpretation of the dynamics of production and economic activity of the enterprise.

**Theoretical analysis.** In control theory (technical devices and systems) distinguish types of movement: self (movement in the absence of external influences arising from the internal properties of devices and systems and perturbations of the initial conditions) and involuntary (movement caused by external influences). **Methods.** In article the objective of the study, mainly native speakers of instrument-making enterprise based on real data of its work. Discusses two quarters: 4th quarter of 2013 and 1st quarter of 2014. Taken into account that changes in plans are staggered in the beginning of each month for the previous results, and the end of the month they and other conditions of work of instrument-making enterprise does not change. Thus entered speed feedback in the control of production and thus speed effects on production are payable only at the beginning of the month and then does not change until the beginning of the next. **Results.** In summary, a correlation between almost produced products and their sense of their difference  $-\Delta x$  characterized non-harmonic oscillatory process irregularity  $\Delta x$  of the work. Experimental graphics  $\Delta x$  described mathematically, are computer simulations showing close values of the estimated and actual processes on the uneven production  $\Delta x$ . **Conclusions.** The proposed approach has allowed us to construct a simple algorithm for predicting the release of products, as well as a simple control algorithm of instrument-making enterprise work, allowing to reduce 2–3 times the oscillatory component of the non-uniformity of the manufactured products.

**Key words:** instrument-making enterprise, dynamics of production and economic activity, mathematical interpretation, planning, planning period, period of oscillation, irregularity, feedback, algorithm.

### References

1. Nahov S. F. Sovershenstvovanie ekonomicheskogo analiza deyatel'nosti gosudarstvennogo innovatsionnogo predpriyatiya na osnove printsipa obratnoy svyazi [Improving the economic analysis of the state of innovative enterprise on the basis of feedback]. *Innovatsionnaya deyatel'nost* [Innovation], 2013, no. 3, pp. 24–32.
2. Krasovskiy A. A., Pospelov G. S. *Osnovi avtomatiki i tekhnicheskoy kybernetiki* [Fundamentals of automation and technical cybernetics]. Moscow, Gosenergoizdat, 1962. 600 p.
3. Babakov I. M. *Teoriya kolebaniy* [Theory of oscillations]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 559 p.
4. Forrester D. *Osnovi kybernetiki predpriyatiya* [Fundamentals of Cybernetics of the enterprise]. Moscow, Progress Publ., 1971. 325 p.
5. Sirazetdinov T. K. *Dinamicheskoe modelirovanie ekonomicheskikh obektov* [Dynamic modeling of economic objects]. Kazan, FEN Publ., 1996. 224 p.
6. Plotnikov A. P. *Razvitie metodologii upravleniya innovatsionnoy deyatel'nostiy na osnove printsipa obratnikh svyazey* [Development of methodology of innovation management on the basis of feedback]. *Vestnik SGTU* [Vestnik of Saratov State Technical University], 2008, no. 3, pp. 32–38.