

# Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung künstlicher Systeme

V.M. Petrov

TRIZ-Summit 2020

Der Aufsatz wurde auf dem TRIZ-Summit 2020 präsentiert<sup>1</sup>.

Übersetzung ins Deutsche von Hans-Gert Gräbe, Leipzig.

## Zusammenfassung

Der Artikel ist der Präzisierung des Systems der Gesetze und Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung künstlicher Systeme und einiger der Gesetzmäßigkeiten gewidmet.

*Schlüsselworte:* TRIZ, Systemansatz, Gesetze und Gesetzmäßigkeiten der Systementwicklung.

## 1. Einführung

Das erste System von Gesetzen der Entwicklung technischer Systeme wurde G. Altschuller in [1] beschrieben. Dieses System wurde von B. Zlotin in [2] präzisiert. Die allgemeine Geschichte der Gesetze der Systementwicklung wird in [3] beschrieben. Die Sicht des Autors auf die Gesetze und Gesetzmäßigkeiten der Systementwicklung ist in der Monographie [4] dargelegt. In diesem Artikel wird der Versuch unternommen, das System der Gesetze aus [4] zu verbessern.

## 2. Neuerungen an den Begriffen und am System der Gesetze

### 2.1. Neu eingeführte Begriffe

Das neue System von Gesetzen und Gesetzmäßigkeiten zerfällt in *unbedingte* und *bedingte*. Die unbedingten nennen wir **Gesetze**, die bedingten **Gesetzmäßigkeiten**. Unbedingt sind diejenigen, deren Nichteinhaltung zur Funktionsunfähigkeit des Systems führt. Bedingt sind statistische Gesetzmäßigkeiten, die unter bestimmten Bedingungen respektiert werden können und müssen, unter anderen Bedingungen aber nicht unbedingt respektiert werden.

#### 2.1.1. Gesetze

Zu den Gesetzen zählen wir die Gesetze der Dialektik, das Gesetz der Erhöhung des Grades der Systemität, die Gesetze der Konstruktion von Systemen und das Gesetz der ungleichen Entwicklung in einem System.

---

<sup>1</sup>[https://r1.nubex.ru/s828-c8b/f3139\\_da/Petrov-TDS-2020-regularities.pdf](https://r1.nubex.ru/s828-c8b/f3139_da/Petrov-TDS-2020-regularities.pdf)

### 2.1.2. Gesetzmäßigkeiten

Zu den Gesetzmäßigkeiten gehören die Gesetzmäßigkeiten der Systemevolution.

## 2.2. Neuerungen an der Struktur der Gesetze und Gesetzmäßigkeiten

Änderungen werden nur an der Struktur der Gesetze der Konstruktion von Systemen vorgenommen. Zu dieser Gruppe gehören die Gesetze der Entsprechung, von Vollständigkeit und Redundanz, der Leitfähigkeit und der minimalen Abgestimmtheit.

Es wurde ein neues Gesetz eingeführt – **das Gesetz der Entsprechung**. Zuvor galt dies als eine der notwendigen Voraussetzungen für die Arbeitsfähigkeit eines Systems.

Das Gesetz der Vollständigkeit schließt die funktionale und strukturelle Vollständigkeit sowie die Redundanz ein. Die strukturelle Vollständigkeit und Redundanz schließen Vollständigkeit und Redundanz von Teilen und Beziehungen des Systems ein.

Neu aufgenommen wurde die *Vollständigkeit und Redundanz der Beziehungen*.

## 2.3. Neuerungen an den Gesetzmäßigkeiten

Es wurde nur eine der Gesetzmäßigkeiten der Erhöhung der Steuerbarkeit modifiziert. Zum allgemeinen Trend der Erhöhung der Steuerbarkeit hinzugefügt wurde der Übergang von einer zentralen zu verteilter und selbstorganisierender Steuerung.

## 3. Das neue System von Gesetzen und Gesetzmäßigkeiten

Gesetze und Gesetzmäßigkeiten der Systementwicklung können

- **allgemeingültig** sein. Dies sind *universelle Gesetze*, die für jedes System gelten, unabhängig von seiner Natur. Sie sind Folge der Einheit der materiellen Welt. Die allgemeinsten unter ihnen sind die **Gesetze der Dialektik** und die **Gesetzmäßigkeit der S-Kurven-Entwicklung**;
- **Gesetze und Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung von Systemen** sein, die allen anthropogenen Systemen gemeinsam sind.

Die allgemeingültigen Gesetze und Gesetzmäßigkeiten haben sich im Vergleich zu [4] nicht verändert.

### 3.1 Gesetze und Gesetzmäßigkeiten der Systementwicklung

Die **Gesetze und Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung von Systemen** formulieren Anforderungen an die Konstruktion und Entwicklung von Systemen.

Die allgemeine Richtung der Systementwicklung führt zur **Erhöhung der Systemität**.

***Systemität** ist die Eigenschaft der Abgestimmtheit aller interagierenden Objekte, die Umwelt eingeschlossen.*

***Diese Interaktion sollte völlig ausgewogen sein.***

*Ein Objekt ist dann und nur dann systemisch ausgeführt, wenn es die folgenden Systemanforderungen erfüllt.*

1. Das System muss seine **Zweckbestimmung** erfüllen.
2. Das System muss **lebensfähig** sein.
3. Das System sollte die in der Nachbarschaft befindlichen Objekte und die Umwelt **nicht negativ beeinflussen**.
4. Bei der Konstruktion des Systems sollten die **Gesetzmäßigkeiten seiner Entwicklung** berücksichtigt werden.

Die **Systemanforderungen** sind Bestandteile des **Gesetzes der Erhöhung des Grads der Systemität**.

Die **Gesetzmäßigkeiten** der Systementwicklung lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

- **Die Gesetze der Konstruktion von Systemen** (diese bestimmen die *Arbeitsfähigkeit des Systems*);
- **Die Gesetzmäßigkeiten der Systemevolution** (diese bestimmen die *Entwicklung von Systemen*).

Die **Gesetzmäßigkeiten der Konstruktion von Systemen** müssen die folgenden Anforderungen der **Systemität** erfüllen:

- *Zweckbestimmtheit*
- *Arbeitsfähigkeit*.

Die **Gesetzmäßigkeiten der Systementwicklung** müssen die folgenden weiteren Anforderungen der **Systemität** erfüllen:

- *Wettbewerbsfähigkeit*;
- *die Umwelt nicht nachteilig beeinflussen*;
- *die Gesetzmäßigkeiten der Systementwicklung berücksichtigen*.

### 3.2 Gesetze der Konstruktion von Systemen

Die Systemforderung der *Zweckbestimmtheit* wird durch das **Gesetz der Entsprechung** erreicht. Dieses Gesetz drückt die Notwendigkeit der Beachtung der Entsprechung von Struktur und Hauptfunktion des Systems aus. Die Struktur des Systems muss die Hauptfunktion des Systems sicherstellen. Die Struktur umfasst die notwendigen Teile sowie die Verbindungen und Interaktionen zwischen ihnen. Die Verbindungen sichern die Einheit des Systems und die Fähigkeit des Flusses durch das System.

Die Systemanforderung der *Arbeitsfähigkeit* wird durch die **Gesetze der Vollständigkeit und Redundanz, Leitfähigkeit und minimalen Abgestimmtheit** definiert.

#### 3.2.1 Das Gesetz der Vollständigkeit und Redundanz

Das **Gesetz der Vollständigkeit und Redundanz** umfasst *funktionale* und *strukturelle* Vollständigkeit und Redundanz.

Das **Gesetz der funktionalen Vollständigkeit** ist gerichtet auf die minimal notwendigen Grundfunktionen des Systems, und das **Gesetz der funktionalen Redundanz** auf die Grund-, Hilfs- und Unterstützungsfunktionen, die zur Sicherstellung der Arbeitsfähigkeit (Ausführung) der Hauptfunktion des Systems erforderlich sind.

Das **Gesetz der strukturellen Vollständigkeit** definiert den minimal erforderlichen Satz von Teilen und Verbindungen im System, das **Gesetz der strukturellen Redundanz** die zusätzlichen Teile und Verbindungen, die zur Arbeitsfähigkeit des Systems erforderlich sind.

Der minimal notwendige Satz von Systemelementen umfasst:

- das Arbeitsorgan;
- Quelle und Transformation von Stoff, Energie und Information;
- Verbindungen;
- die Steuerung.

Der minimal erforderliche Satz von *Verbindungen* umfasst die Verbindungen zwischen den minimal notwendigen Elementen.

**Redundanz** ist eine Gesetzmäßigkeit, nach der etwa **20% der Funktionen, Elemente und Verbindungen** des Systems etwa **80% der Arbeit** ausführen.

Bei der Herstellung der Funktionsfähigkeit eines Systems muss berücksichtigt werden, dass für die Durchführung jeder Arbeit außer den Grundelementen und Verbindungen (die eine primäre Funktion erfüllen), weitere etwa **80% Hilfselemente** benötigt werden, die in der Regel, nur **20% der Basisarbeit** leisten. Vor diesem Hintergrund sollte der **zusätzliche Verbrauch von Stoff, Energie und Information** vorgesehen werden (ca. 20% für die Absicherung der Primärfunktion und 80% für Grund- und Sekundärfunktionen).

Im Allgemeinen wird die Gesetzmäßigkeit der Redundanz folgendermaßen formuliert: „20% des Aufwands liefern 80% des Ergebnisses und die verbleibenden 80% des Aufwands nur 20% des Ergebnisses“ (Pareto-Gesetz, siehe Wikipedia).

Die Redundanz ist besonders hoch, wenn an das System *erhöhte Anforderungen* gestellt werden.

Dies ist am häufigsten bei Sicherheits- und Rettungssystemen, bei medizinischer Ausrüstung, Militärtechnik, komplizierter wissenschaftlicher Forschung, Sportgeräten, Luxusgütern, Massenfeiern usw. der Fall. Derartige Systeme verfügen in der Regel über Duplizierungsmittel, erhebliche Reserven (an Leistung, Energie, Proviant, Medikamenten, Munition usw.) oder „Redundanzen“, Luxus.

### 3.2.2 Gesetz der Dimensionierung von Flüssen

Stoff, Energie und Informationen müssen von der Quelle zum verbrauchenden Systemelement geleitet werden, wobei die erforderlichen Transformationen für die jeweilige nützliche Funktion ausgeführt werden müssen.

Das Erstellen der richtigen Flüsse sichert die erforderliche **Funktionalität** und **Arbeitsfähigkeit**. Fehlt auch nur ein lebenswichtiger Fluss, ist das System arbeitsunfähig.

Flüsse können sein:

- Stoffe;

- Energie;
- Informationen.

Der **Stofffluss** gewährleistet den Transport von *Stoff* in verschiedenen Aggregatzustände (z.B. fest, gelartig, flüssig oder gasförmig) oder von *Objekten*. Der Transport von **Stoffen** kann z.B. durch Pipelines erfolgen, mit Hilfe eines Förderbandes usw., der Transport von **Objekten** mit Hilfe von Transportmitteln, z.B. mit der Bahn, mit Kraftfahrzeugen, mit Schiffen, Flugzeugen, Rolltreppen, Transportern usw.

Der **Energiefluss** transportiert Energie von der Quelle zum verbrauchenden Element. Der Fluss kann z.B. mechanische, elektrische, optische, chemische oder andere Energiearten transportieren, verschiedene Strahlungen usw.

Der **Informationsfluss** gewährleistet den Fluss der Information von der Quelle zu den Ziel-elementem, zum Beispiel vom Steuerungssystem zu den Steuerorganen und zurück. Der Informationsfluss kann zum Beispiel mit Hilfe von Kabeln realisiert werden, über welche die Übertragung von Information, Kontrolle und Steuerung erfolgt, oder über alle Arten drahtloser Kommunikation usw. Information kann auf verschiedene Weise verbreitet werden: durch gedrucktes Material, über Internet, Radio und Fernsehen usw. Informationsträger sind Stoff und/oder Feld (Energie).

### 3.2.3 Gesetz der minimalen Abgestimmtheit

Externe Abstimmung:

- Abstimmung von Bedarf und Hauptfunktion;
- Abstimmung der Hauptfunktion und des Funktionsprinzips;
- Abstimmung des Funktionsprinzips und des Arbeitsorgans (das Arbeitsorgan muss die Hauptfunktion sicherstellen).

Interne Abstimmung (minimale Abstimmung):

- Minimale Abstimmung der Umwandlung mit dem Arbeitsorgan;
- Minimale Abstimmung von Quelle und der Umwandlung von Stoff, Energie und Informationen untereinander sowie mit dem Arbeitsorgan und dem Steuerungssystem;
- Minimale Abstimmung des Steuerungssystems mit dem Arbeitsorgan, der Quelle und der Umwandlung von Stoff, Energie und Information;
- Abstimmung aller Verbindungen und Ströme;
- Minimale Abstimmung aller Systemparameter.

## 3.3 Gesetzmäßigkeiten der Systementwicklung

In [4] wurden diese Gesetzmäßigkeiten Gesetze genannt. Da diese Gesetze statistisch sind und unverbindlichen Charakter haben, haben wir sie in Gesetzmäßigkeiten umbenannt. Sie haben sich nicht geändert.

- Die Gesetzmäßigkeit der Veränderung des Grades der Idealität;
- Die Gesetzmäßigkeit der Veränderung des Grads der Steuerbarkeit und Dynamik;
- Die Gesetzmäßigkeit der Veränderung des Grades der Abstimmung – Divergenz;

- Die Gesetzmäßigkeit des Übergangs zum Ober- und Untersystem;
- Die Gesetzmäßigkeit des Übergangs auf die Mikro- und Makroebene;
- Die Gesetzmäßigkeiten der Ausnutzung des Raumes.

### **3.4 Veränderungen in den Gesetzmäßigkeiten der Veränderung des Grades der Steuerbarkeit und Dynamik**

Die Änderungen betreffen nur die Gesetzmäßigkeiten der Veränderung des Grades der Steuerbarkeit.

#### **3.4.1 Allgemeine Tendenz der Erhöhung des Grades der Steuerbarkeit**

Die allgemeine Tendenz der zunehmenden Steuerbarkeit besteht im Übergang

- von unkontrollierten zu steuerbaren Systemen;
- von nicht-automatischer (manueller) Steuerung zu automatischer;
- von drahtgebundener Steuerung zu drahtloser;
- von direkter Steuerung zur Fernsteuerung;
- von zentraler Steuerung zu verteilter und selbstorganisierender Steuerung (neu eingeführte Tendenz).

Der Trend des Übergangs von zentraler zu verteilter Steuerung wird seit langem in komplexen Systemen wie Flugzeugen (insbesondere Militärflugzeugen) eingesetzt, Raumfahrzeugen und -stationen, Schiffen, Autos usw. verwendet.

In den letzten Jahren wurden solche Systeme zur Steuerung einer Gruppe von Objekten eingesetzt, wie Satelliten, Drohnen. Es gibt ein Projekt zur Schaffung eines Verkehrssystems, wo jede Maschine mit nahegelegenen Maschinen verbunden ist und so ein sicheres Bewegungssystem herausgearbeitet wird.

### **3.5 Konstruktion neuer Systeme**

Um neue Systeme zu konstruieren, wird ein Systemansatz verwendet, der Systemanalyse und Systemsynthese umfasst [4].

Die Systemanalyse hat zwei Richtungen:

1. Identifizierung des Funktionsprinzips, der Hauptfunktion und der Bedürfnisse des untersuchten Systems;
2. Identifizierung von Mängeln.

Das neue System kann auf bestehende oder alternative Prinzipien von Aktionen, Funktionen und Bedürfnissen aufgebaut werden.

Alternative Handlungsprinzipien können durch die Verwendung verschiedener Arten von Effekten und Technologietransfer gefunden werden. Alternative Funktionen können durch Anwendung der Gesetzmäßigkeiten von Funktionsänderungen identifiziert werden. Alternative Bedürfnisse können unter Verwendung von Gesetzmäßigkeiten der Bedarfsentwicklung identifiziert werden.

### 3.5.1 Gesetzmäßigkeiten von Funktionsänderungen

Die *Gesetzmäßigkeiten zur Änderung der Funktionen* umfassen [4]:

- die Gesetzmäßigkeit der Idealisierung von Funktionen;
- die Gesetzmäßigkeit der Dynamisierung von Funktionen;
- die Gesetzmäßigkeit der Abstimmung von Funktionen;
- die Gesetzmäßigkeit des Übergangs zur Mono- oder Polyfunktionalität.

### 3.5.2 Gesetzmäßigkeiten der Bedarfsentwicklung

Die *Gesetzmäßigkeiten der Bedarfsentwicklung* umfassen [4]:

- die Gesetzmäßigkeit der Idealisierung von Bedürfnissen;
- die Gesetzmäßigkeit der Dynamisierung von Bedürfnissen;
- die Gesetzmäßigkeit der Abstimmung von Bedürfnissen;
- die Gesetzmäßigkeit der Vereinigung von Bedürfnissen;
- die Gesetzmäßigkeit der Spezialisierung von Bedürfnissen.

## 4. Schlussfolgerung

In dem Aufsatz hat der Autor kurz die wichtigsten Änderungen im System der Gesetze und Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung künstlicher Systeme beschrieben.

Gesetze und Gesetzmäßigkeiten werden in obligatorische und nicht obligatorische unterteilt. Die obligatorischen werden als Gesetze bezeichnet, die nicht obligatorischen als Gesetzmäßigkeiten.

Zu den Gesetzen gehören die Gesetze der Dialektik, das Gesetz der Erhöhung der Systemität, die Gesetze des Systemaufbaus und das Gesetz der ungleichen Entwicklung in Systemen.

Änderungen werden im Vergleich zur Monographie [4] des Autors betrachtet. Neues ist nur in der Gesetzmäßigkeit der Erhöhung des Grades der Steuerbarkeit enthalten. Zu den allgemeinen Tendenzen wird die Tendenz des Übergangs von zentralen zu verteilten und zu selbstorganisierenden Steuerungen hinzugefügt.

## Literaturliste

1. G.S. Altschuller. Творчество как точная наука: Теория решения изобретательских задач (Schöpfertum als exakte Wissenschaft). Moskau, 1979.
2. G.S. Altschuller, B.L. Zlotin, A.V. Zusman, V.I. Filatov. Поиск новых идей: от озарения к технологии (Suche nach neuen Ideen: Von ersten Einsichten zur Technologie). Kischinjaw, 1991. ISBN 5362001477.
3. V.M. Petrov. История развития законов: ТРИЗ (Geschichte der Entwicklung der TRIZ-Gesetze). Ridero, 2018. ISBN 9785449360793.
4. V.M. Petrov. Законы развития систем: ТРИЗ (TRIZ-Gesetze der Systementwicklung). 2. Auflage. Ridero, 2019. ISBN 9785449099853.

5. G.S. Altschuller. Найти идею: Введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач (Eine Idee finden: Einführung in die TRIZ – Theorie der Lösung erfinderischer Aufgaben). Novosibirsk, 1986.

## **Danksagungen**

Ich bedanke mich bei Boris Goldovsky für seine Hilfe beim Überdenken von Konzepten und dem System von Gesetzen, das in [4] entwickelt wurde.