

U/247

Išlinskij, A.Ju.

(Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR)

ÜBER ŠUCHOV'S BEITRAG ZUR PLANUNG UND BERECHNUNG VON BAUKONSTRUKTIONEN*

Übersetzung aus:

Šuchov, V.G.: Stroitel'naja mehanika. Izbrannye trudy.
Moskva: Verlag "Nauka", 1977, S. 4 - 9. (Ausgewählte Werke
zur Baumechanik; russ.).

Russ.: О ВКЛАДЕ В. Г. ПУХОВА
В ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ*

О вкладе V.G. Šuchova v proektirovanie i rasčët
stroitel'nych konstrukcij

Vladimir Grigor'evič Šuchov ging als hervorragender Forscher und Ingenieur in die Geschichte der sowjetischen Wissenschaft und Technik ein, aber auch als Mensch, der weitreichende theoretische Erkenntnisse mit verblüffender Begabung für Konstruktionen in sich vereinigte.

Šuchov verstand es, jede ihm gestellte praktische Aufgabe auf ein wissenschaftliches Fundament zu stellen, er verstand es auch, Theorie und Experiment in Beziehung zu bringen. Was heutzutage als "technische Berechnung" bezeichnet wird, setzte er seinerzeit in die Praxis um. Ohne Übertreibung kann man Šuchov einen bedeutenden Ingenieur seiner Zeit nennen. Auch noch heute haben viele seiner Ideen nicht an Bedeutung verloren. Galt es, irgendein Bauwerk ingenieurmäßig herzustellen, ging er nicht nur von theoretischen Überlegungen aus, sondern ließ sich auch vom Gedanken der Rentabilität und technischen Machbarkeit leiten. In Šuchov verbanden sich aufs vorzüglichste Wissenschaftlichkeit und Ingenieurspraxis. Er besaß das seltene Talent, seine Ideen und Gedanken in der Praxis zu realisieren.

* Bei der Abfassung dieser Abhandlung wurde Ju.K. Milonovs Archiv herangezogen.

Archivunterlagen beweisen, daß Šuchov das ganze Leben hindurch die wichtigsten Berechnungen selbst anstellte. Die Ausarbeitung seiner Konstruktionen und ihre praktische Verwirklichung leitete er unmittelbar.

Ein markanter Punkt in Šuchovs Tätigkeit sind seine Arbeiten zur Herstellung von Ingenieurskonstruktionen. Als Beispiel mag uns die Allunions-Kunst- und Industrieausstellung von 1986 in Nižnij Novgorod¹⁾ dienen.

Dort realisierte Šuchov viele seiner theoretischen Überlegungen. "Die Zeitgenossen waren überrascht von den leichten Bogenbindern, die das Hauptgebäude der Maschinenabteilung überspannten ... und auch von den originellen und in Form und in Leichtigkeit der Konstruktion neuartigen Šuchovschen Bogensystemen und Hängedächern, die hier zum erstenmal praktisch in das Bauwesen eingeführt wurden," schrieb Professor Chudjakov, Šuchovs Zeitgenosse. "Diese netzförmige Oberfläche, die sozusagen aus einer einzigen Dachlatte besteht, wurde durch keinerlei Dachbinder abgestützt sondern ruhte unmittelbar auf den Wänden und Stützen der Gebäude, weshalb viele diese Šuchovschen Überdachungen auch "Dächer ohne Binder" nannten".²⁾

Für die Überdachung des runden Raumes über dem Gebäude der Maschinenabteilung mit 68 m Durchmesser fand Šuchov eine sehr originelle Lösung. Der obere Stahlring mit 25 m Durchmesser wurde mit einem Blechdeckel abgedeckt, und die Seiten des Kegelstumpfs zwischen oberem und unterem Ring bildete ein Netz aus Stahlbändern, die an ihren Kreuzungspunkten vernietet wurden. Alle Netzmaschen wurden mit rhombenförmigen Platten verschlossen, die in der Moskauer Fabrik von Baris³⁾ Büro hergestellt worden waren.

Der interessanteste Teil des Bauwerks war das Zentrum des Pavillons. "Der Zentralteil des Gebäudes war mit einer nach innen konkaven Schale aus dünnem Eisenblech bedeckt, deren Ränder am oberen Ring befestigt

¹⁾ heute Gor'kij (Anm.d.Übers.)

²⁾ Chudjakov, P.K.: Novye tipy metalličeskich i derevjannych pokrytij dlja zdanij po sisteme inženera V.G. Šuchova.
In: Techničeskij sbornik i Vestnik promyšlennosti. Moskva, 1896, Nr 5, S. 169 - 172.
(Neue Metall- und Holzdachformen nach dem System des Ingenieurs V.G. Šuchov; russ.) (Anm.d.Übers.)

³⁾ A.V. Bari - Moskauer Konstruktionsbüro, mit dem Šuchov längere Zeit zusammenarbeitete. (Anm.d.Übers.)

waren,"* schrieb P.K. Chudjakov. Er schrieb auch, es sei müßig, in den seinerzeitigen Unterrichtskursen für Ingenieure und Baumeister irgendwelche Hinweise auf dieses Ereignis zu suchen: "... derartige Dächer konnten von zahllosen Ingenieuren und Architekten nicht gebaut werden, auch wenn sie über eine große Praxis im Kopieren bereits verhandener Bauwerke verfügten: dafür bedurfte es des besonderen unstillbaren Forschungsdranges eines selbständigen Ingenieurs, der mit vollem Bewußtsein jede neue Arbeit die durch seine Hände geht, in Angriff nimmt. Die hier gefundene Oberfläche stellte beim Erfinder das Ergebnis einer selbständigen mathematischen Analyse dar."

Großes Interesse zeigten die Ausstellungsbesucher an dem hyperbelförmigen Wasserturm. Bei seiner Konstruktion nutzte Šuchov die aus der analytischen Geometrie bekannte Eigenschaft, die Oberfläche eines aus einem einzigen Raum bestehenden Hyperboloids durch Drehen einer Geraden um eine Achse zu bilden. Diese Eigenschaft wurde hier zum ersten Mal im Bauwesen genutzt. Damit konnte auf arbeitsaufwendige gebogene Elemente verzichtet werden, die zudem teuer und montagemäßig kompliziert waren. 1906, also 10 Jahre später, wurde das Hyperboloid ohne einen einzigen Hinweis auf Šuchovs Urheberschaft auf amerikanischen Kriegsschiffen als Wachturm eingesetzt. 1922 legte Šuchov das Rotationshyperboloid seiner Konstruktion des Šabolovker Sendeturms in Moskau zugrunde (der berühmte "Šuchov-Turm").

Auf der Ausstellung wurden auch die netzförmigen durchbrochenen Šuchovschen Dächer vorgestellt. Das eindrucksvollste Beispiel dafür war der Pavillon der Zavodskojer¹⁾ Handwerks-Abteilung und stellte ein zylindrisches Gewölbe aus sich kreuzenden Elementen dar, die schräg zur Achse des Bauwerks lagen, wodurch die Abmessungen der rautenförmigen Zellen derart ausfielen, daß das Dach ohne Verwendung von Längsträgern direkt auf das so gewonnene Gerüst gelegt werden konnte. Weil die Stäbe, die die Zellen bildeten und die an den Kreuzungspunkten vernietet wurden, kurz waren, ergab sich ein guter Biegewiderstand. Mit diesen Gewölben wurden 5 Gebäude mit Spannweiten von 13 bis 32 m und einer Gesamtfläche von 20 000 m² überdacht.

* Das erste Dach dieser Art schuf Šuchov für ein Gebäude aus Steinmauern in der Kesselfabrik von Bari in Moskau.

¹⁾ Zavodskoj - Kleinstadt bei Kamensk-Šachtinskij (Anm. d. Übers.)

Um die Arbeitsweise von V.G. Šuchov bei seiner Theorie der Berechnung von Baukonstruktionen aufzuzeigen, wollen wir seine Arbeit "Stropila"¹⁾ von 1897 einer kurzen Analyse unterziehen.

Die in diesem Buch dargelegte Methode bezeichnet der Verfasser als "analytische Berechnung für Dachbinder, die das Problem beantwortet, wie die von den verschiedenen Binderteilen aufzunehmenden Kräfte, das Gewicht dieser Teile bestimmt werden und wie beim Planen die günstigste geometrische Lage aller Binderteile gefunden wird, bei der das Gewicht des für den Bau verwendeten Binderwerkstoffes am geringsten ist."

Šuchov vergleicht die mathematischen Ausdrücke für die Kräfte der horizontalen Strebe oder für die Zugspannung und des größten Biegemoments mit beliebigem Querschnitt bei Bindern mit rechteckigem Aufsatz und parabolischer Gestalt und zieht die Schlußfolgerung, "wenn dem Konstrukteur bei der Gestaltung des Daches freie Wahl gelassen wird, dann muß er, um das geringste Gewicht zu erzielen, an parabolischen Bindern festhalten, denn jegliche Suche nach irgendeiner anderen Binderform mit geringerem Gewicht ist in diesem Fall zwecklos."

Er analysiert dann verschiedenartige Parabeln und kommt zum Schluß, daß "jegliche Abweichung von einem Binder, dessen Parabelhöhe mit dem mittleren Binderquerschnitt übereinstimmt, in der Absicht, die Biegemomente auf der Belastungsseite zu vermindern, unweigerlich eine Zunahme der Biegemomente auf der unbelasteten Binderseite nach sich zieht und umgekehrt." Dabei ist das Biegemoment bei Verlagerung der Parabelhöhe um ein Viertel der Spannweite doppelt so groß wie bei einer symmetrischen Parabel.

Bei der Frage, welche Mittel geeignet seien, bei parabolischen Bindern die bei einseitiger Belastung auftretenden Biegemomente zu verringern, kommt Šuchov zu dem Ergebnis, es sei am günstigsten, die in geraden Bindern üblicherweise verwendeten Streben durch ein System aus Schrägzügen zu ersetzen. Gegen Streben wendet er ein, daß "die Verwendung von langen komprimierten Teilen bei schwachen Kräften ungünstig ist bezüglich Materialeinsatz, ... die Längen der Druckstreben in Bögen

¹⁾ Der Dachverband; russ. Moskva: 1897. (Anm.d.Übers.)

sind größer als bei geraden Bindern". Werden die Streben durch ein System aus Schrägzügen oder Seiten ersetzt, die die verschiedenen Bogenpunkte mit der Sohle verbinden, dann stellt dies somit einen großen Vorteil hinsichtlich Werkstoffeinsparung sowie bezüglich Einfachheit der Bauausführung dar.

Ausgehend von der Überzeugung, daß "eine detaillierte theoretische Analyse der Berechnung von Netzbögen mit Schrägzügen äußerst komplizierte Berechnungen erfordern würde, die letztlich zu Gleichungen führen, welche eher wahrscheinlich als zutreffend sind", kam Šuchov zu der Einsicht, daß "es viel sicherer ist, bei der Berechnung der Gleichungen allein davon auszugehen, daß an den Verbindungsstellen der Schrägzüge Scharniere eingesetzt werden".¹⁾

"Beim Konstruieren und Bauen von Bögen", schrieb Šuchov bei der Begründung seiner Problemlösung, "muß das Hauptaugenmerk unbedingt auf der Stellung der Züge liegen". Denn "eine überflüssige Dehnung kann zusätzliche Kräfte erzeugen, für die die Binderteile nicht berechnet sind". Und "... um mögliche zufällige Dehnungen der Züge zu vermeiden", empfiehlt er, "nicht starre, sondern die von uns vorgeschlagenen elastischen Spannvorrichtungen zu verwenden".

Mit Sachverstand wählte Šuchov die mathematischen Hilfen für seine Problemlösungen der Baumechanik und verbreitete beharrlich die besten. So z.B. bei der Anwendung der heute allgemein bekannten linearen Differentialgleichung vierter Ordnung auf Balkenbiegung allgemein und auf elastisch gelagerte Balken im besonderen. Diese Gleichung konnte man bereits Anfang des 18. Jhdts. in den Arbeiten der Mitglieder der Petersburger Akademie der Wissenschaften, Leonard Euler und Daniel Bernouilli, finden. 1734 entwickelte Euler eine ganz allgemeine Integration für diese Gleichung.

1867 wandte Eduard Winkler erstmals diese Differentialgleichung an, um das Teilproblem Biegung einer Eisenbahnschiene zu lösen. A. Rezal benutzte sie 1876, um ein anderes, dennoch ein partielles Problem zu lö-

¹⁾ Die Berechnung von Bindern mit starren Knotenpunkten (d.h. im wesentlichen Rahmenkonstruktionen) war so kompliziert, daß die Ingenieure gezwungen waren, Binder so zu berechnen, als hätten sie ideale Scharniere.

sen: die Berechnung der Wand eines Dampfkessels ("Abhandlungen über die Allgemeine Mechanik"). Das Verdienst, diese Gleichung auf die vielfältigsten Probleme der Baumechanik angewandt zu haben, gebührt Vladimir Grigor'evič Šuchov. In der Arbeit "Mechanische Anlagen der Erdölindustrie",¹⁾ veröffentlicht 1883 vom Ministerium für Straßenwesen in der Zeitschrift "Der Ingenieur [Inžener]", gab Šuchov die Anwendung dieser Differentialgleichung bekannt"; er benutzte sie bei der Berechnung von "Stahlbehältern zur Aufbewahrung flüssiger Körper". Betrachtet man die zum Erdöltransport dienende Flußbarke als einen schwimmenden Balken, stellt man sofort fest, daß er dieselbe Gleichung einsetzte.

"In den 20 Jahren seit Erscheinen meines ersten Artikels", schrieb Šuchov bezüglich seiner Arbeit "Mechanische Anlagen der Erdölindustrie", "konnte ich viele Male diese Gleichung praktisch bei der Berechnung von Balken anwenden und mich davon überzeugen, daß ihre einfache Anwendungsweise ganz leicht äußerst komplizierte Probleme löst."

"Soweit mir bekannt", vermerkte er 1903 in seinem Buch²⁾ "Die Gleichung $EId^4y/dx^4 = -\alpha y$ in Aufgaben der Baumechanik", "wird in der Literatur über die Baumechanik nicht die Frage untersucht, ob eine Ableitung vierter Ordnung unmittelbar auf die Analyse der Durchbiegung gerader Balken anwendbar ist, wobei eine derartige Anwendung die Lösung vieler Fragen vereinfachen dürfte ... und zu einer simplen Lösung vielfältigster Aufgaben führt."

In der Bemerkung, daß "Die Gleichung ein Einzelfall der allgemein gebräuchlichen Anwendung der Theorie der Durchbiegung (ist), welche besagt, daß für gerade Binder eine Ableitung vierter Ordnung einer elastischen Linie die Belastung auf die Längeneinheit ausdrückt", d.h. $EId^4y/dx^4 = -\alpha q$, unterstreicht Šuchov noch einmal: "... wenn q konstant oder Funktion von x ist, dann löst die Gleichung alle Fragen bezüglich gewöhnlicher Balken."

¹⁾ Mečničeskie sooruženija neftjanoj promyšlennosti. In: Inžener. Žurnal Ministerstva putej soobščeniija. Sankt-Peterburg, 3 (1883), Bd 13, Nr 1, S. 500 - 507; 3 (1883), Bd 14, Nr 1, S. 525 - 533.
- Deutsche Vollübersetzung aus dem Russischen: Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek Stuttgart, Nr 243, 18 Seiten (Anm.d.Übers.)

²⁾ Vor der Veröffentlichung hatte es eine große Diskussion gegeben zwischen Šuchov und K. Esipov im Mitteilungsblatt der Politechnischen Gesellschaft (Bjulleten' Politečničeskogo obščestva, 1902, Nr 5, 8 und 1903, Nr 4, 7) (Anm. d. Red.)

Im selben Aufsatz eröffnet Šuchov, wie ein sukzessives Integrieren der Gleichung $EId^4y/dx^4 = -\alpha q$ eine Reihe von Gleichungen abfallender Größenordnung liefert, die es ermöglichen, "das Problem der Momente, der Schnittkräfte und der Kurvenform in einem beliebigen Balken" zu lösen. Hinsichtlich des durchgehenden Balkens meint er, daß "dabei die bekannte Gleichung über die drei Momente ganz beiläufig sich ergebe." Etwas später verbreiteten Ž. Bussinesk (1885) und A. Fepl' (1898) die Anwendung dieser Gleichung auf die Berechnung unendlich langer Binder, die Berechnung des Drucks auf die Brückenspannweite und die Bestimmung des Stützdrucks von Brückenbindern auf das Steinfundament.

Auf den von V.G. Šuchov geleisteten Beitrag zur Wissenschaft hat erstmals der geniale russische Wissenschaftler N.E. Žukovskij verwiesen, und zwar in seiner Mitteilung vom 6. März 1904 in der Mathematischen Gesellschaft, wo er insbesondere darauf hinwies, daß sich in Šuchovs Aufsätzen eine ganze Reihe von Fragen stellten, "deren Lösung allein von der Integrierung der Gleichungen vierter Ordnung abhängen." Žukovskij demonstrierte die Lösung der von Šuchov erarbeiteten Probleme an folgenden Beispielen: Lösung von vier verschiedenen elastischen Trägern, eines zylindrischen, mit Flüssigkeit gefüllten Behälters und der Wände eines zylindrischen Dampfkessel-Heizrohres unter Verwendung der Hyperbelfunktionen¹⁾. Nicht weniger wichtig wurde Šuchovs grundlegende Arbeit "Stropila"²⁾ (1897) eingeschätzt.

In ihrem Gutachten zu Šuchovs Wahl im Jahre 1927 als korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR haben A.N. Krylov und P.P. Lazarev festgestellt, daß dieser bemerkenswerte Wissenschaftler "auf die Ausarbeitung einer eigentümlichen halbgeometrischen Untersuchungsmethode gestoßen (sei), die in kürzester Zeit zu endgültigen Resultaten geführt hat."

¹⁾ 1915 wurde N.E. Žukovskijs Mitteilung veröffentlicht: O priloženii v stroitel'noj mehanike uravnenija $\frac{d^4y}{dx^4} = -4\alpha y$ (Über die Anwendung der Gleichung $\frac{d^4y}{dx^4} = -4\alpha y$ in der Baumechanik; russ.). In: Matemati-

českij sbornik. Moskva, 29 (1915), Nr 3, S. 241 - 268 (Anm.d.Red. und des Übers.)

²⁾ vgl. Anm. 1) zu S. 4.

Besonders bemerkenswert an Šuchovs Untersuchungen war die Anwendung des Analogieprinzips auf die Ingenieurspraxis. Über einen derartigen Anwendungsfall schrieb 1919 P.K. Chudjakov in einem Artikel über die theoretischen Untersuchungen des Gelehrten: "Der Ingenieur Šuchov hält sich in seinen Arbeiten vor allem an die Analogie des Ingenieurwesens, welche zwischen der Drehung des Querschnitts bei einem schwimmenden Körper und der Drehung des Querschnitts eines elastisch gekrümmten Balkens vorliegt. In beiden Fällen wird diese Drehung tatsächlich durch die im Wesen ein und dieselben Gleichungen charakterisiert." Die Analogie mit einem schwimmenden Träger lieferte Šuchov eine erfolgreiche und gleichzeitig äußerst ungewöhnliche Lösung für das Problem eines sandgelagerten eisernen Behälterbodens. Šuchov wies nach, daß der Boden von senkrechten Behältern unmittelbar auf der Erde abgestützt werden kann und daß man die Dicke der Bodenschichten aus der Konstruktion bestimmen kann.

Seit Šuchovs Tod sind ungefähr vierzig Jahre vergangen. Jedermann weiß aber noch heute, daß gerade nach Šuchovs Projekten Versuchs- und Industrieanlage des Krack-Prozesses, Großbehälter und Erdöltanker, die originellen räumlichen Abdeckungen mit doppelter Krümmung für eine Fabrik in Vyks, der Bahnsteig des Kiever Bahnhofs in Moskau, und Dächer für verschiedene Gebäude geschaffen wurden, wie z.B. für das GUM¹⁾, das ZUM²⁾, das Hotel "Metropol"³⁾ u.a. Ein großartiges Denkmal für den großen Ingenieur ist die genial einfache Konstruktion des hyperbelförmigen Turmes auf Šabolovka in Moskau, das erste Hochgebäude in unserem Land.

Šuchovs Ideen, von den Balkenbindern mit Pfetten und Bindern überzugehen zu den räumlichen Netzkonstruktionen, finden heutigentags überall Anerkennung und Nachahmung. Fortschrittliche Konstruktionen für Gebäudedächer vielfältigster Art und Zweckbestimmung sind auch die Netze, die aus ein oder zwei parallelen Netzen gebildet werden, welche durch ein Strebengitter verbunden werden.⁴⁾

1) GUM - Gosudarstvennyj universal'nyj magazin - größtes Kaufhaus in Moskau (Anm.d.Übers.)

2) CUM - Central'nyj universal'nyj magazin - Zentrales Warenhaus in Kiev (Anm.d.Übers.)

3) in Moskau (Anm.d.Übers.)

4) Im wichtigsten Dokument des 15. Parteitags der KPdSU über "Die Hauptrichtungen in der Entwicklung der Volkswirtschaft der UdSSR von 1976 bis 1980" wird als notwendig festgehalten: "Ausdehnung der Baupraxis ... auf Gebäude aus räumlichen und anderen fortschrittlichen Konstruktionen."

Viele von Šuchovs wissenschaftlichen und ingenieurmäßigen Vorstellungen, seine Arbeitsweise stehen auch heute noch unserer Wissenschaft nahe und fördern den technischen Fortschritt.

Šuchovs Schaffen ist eine Glanzseite in der Geschichte der russischen und sowjetischen Wissenschaft und Technik.

Stuttgart, den 1. Dezember 1981

übersetzt von

Ottmar Pertschi

(Ottmar Pertschi)

Dipl.-Übersetzer