

m/13

Biographie eines Giganten

Der 525 m hohe Turm des zur Zeit im Bau befindlichen neuen Moskauer Fernsehentrums kann mit Recht als einer der interessantesten Ingenieurbauten der Hauptstadt gelten. In diesen Tagen wurde der Stahlbetonteil mit der Höhe von 385,5 m fertiggestellt, und damit wurde der wesentlichste und komplizierteste Arbeitsabschnitt, der einen großen Arbeitsaufwand erfordert, beendet. Nun wird die 140 m hohe Metallantennenanlage in Angriff genommen. Aber schon der noch nicht in seiner vollen Größe stehende Riese ist zum nicht mehr wegzudenkenden Bestandteil des Moskauer Landschaftsbildes geworden.

Das neue Fernsehzentrum wird gleichzeitig 5 Programme des Schwarz-Weiß- und Farbfernsehens übertragen können. Die die Wolken überragenden Antennen gewährleisten in einer Reichweite (einem Radius) von 150 km einen sicheren Empfang dieser Übertragungen ohne Zwischensenderbetrieb.

Diese schwierige Ingenieuraufgabe hat das Autorenkollektiv des Projekts unter der Leitung von Dr. Ing. (Dr. der techn. Wiss.) Nikolaj Vasil'evič Nikitin gelöst. Nicht weniger Schwierigkeiten hatten auch diejenigen zu überwinden, die die Idee der Projektoren in Beton und Stahl zu konkretisieren hatten.

Der Turm in Ostankino stützt sich auf ein Ringfundament, dessen größter Durchmesser 74 m beträgt (bemerkenswert ist, daß der berühmte Eiffelturm in Paris bei einer Höhe von 300 m ein quadratisches Fundament mit der Seitenlänge von 123,4 m hat. Der 10-flächige (10-kantige) Stahlbetonring wird durch eine gespannte Bewehrung zusammengepreßt, die aus mehr als 1000 Bündeln mit je 24 5-mm-starken hochfesten Drahtfäden besteht. Das Fundament des Turms liegt auf einer natürlichen Gründung aus Moränenlehm in einer Tiefe von 4,6 m unterhalb der Erdoberfläche. Sorgfältige Berechnungen und alle möglichen Prüfungen bestätigten jedoch die völlige Sicherheit dieser Konstruktion.

Der untere Teil des Turms stellt einen dünnwandigen 63 m hohen Stahlbetonkegel dar. Er erinnert an einen umgestülpten Blumenkelch mit 10 Blütenblättern. Diese dünnwandigen "Blütenblätter" aus Stahlbeton, die 16 m hoch und im unteren Teil 80 cm stark sind, tragen das ganze 32 000 t

schwere Bauwerk. In diesem Teil des Turms liegen 13 über der Erdoberfläche befindliche Etagen und ein Vestibül mit einer Gesamtfläche von $16\ 000\ m^2$, auf denen die radiotechnischen u. a. Ausrüstungen untergebracht werden sollen.

Schon zu dem Zeitpunkt, da der 1. Entwurf für den Riesen angefertigt worden war, stand fest, daß er starken Windbelastungen standhalten wird. Aber welche Windbelastungen sind das tatsächlich? Die Konstrukteure haben jahrelang die Windgeschwindigkeit untersucht. Nach den berechneten Normen nimmt man eine Geschwindigkeit von $25\ m/sec$ an. In diesem Fall wird in $500\ m$ Höhe ein Orkan mit $43\ m/sec$ toben. In Moskau kommt das ungefähr einmal in 50 Jahren vor. Zum Vergleich sei gesagt, daß ein Wind mit der Geschwindigkeit von $35\ m/sec$ Bäume fällt, Telegraphenmasten umknickt, Dächer einreißt. Die Ingenieurberechnungen bestätigen jedoch: Der Turm von Ostankino kann sogar einer doppelt so starken Belastung standhalten.

Wodurch konnte man das erreichen? Zunächst durch eine zweckmäßige konstruktive Lösung, aber auch durch die Verwendung hochqualitativer Werkstoffe. Der für Schaft und Kegel des Turmes verwendete Beton kann z. B. Zugspannungen von $40\ kg\ pro\ cm^2$ aushalten, wobei nach den technischen Bestimmungen nur $14\ kg$ zulässig sind. Wie das Projekt vorsieht, wird sich der ganze Beton bei den berechneten Beanspruchungen im verdichteten Zustand befinden. Was die Zugkräfte anbelangt, so werden sie von 150 aus hochfestem Draht geflochtenen Seilen mit $38\ mm$ Durchmesser aufgenommen. Sie wurden vom Seilereiwarenwerk Charcisk nach besonderen technischen Bestimmungen und mit einem verstärkten Antikorrosionsüberzug hergestellt. Jedes Seil ist so berechnet, daß es $72\ t$ Zugkraft aufnehmen kann.

Diese Bewehrung, die von mächtigen hydraulischen Hebeböcken innerhalb des Schaftes gespannt wird, ist nicht einbetoniert, sondern steht frei (offen), damit man sie während des Betriebes nach Bedarf nachziehen kann. Mit der Höhe des Turms verringert sich die Anzahl der Seile. Sie haben eine unterschiedliche Länge. Ihre Enden werden in verschiedenen Höhenlagen durch eine neue Konstruktion - die Hülsenkeilverankerung befestigt. Die Seilbewehrung gewährleistet auf diese Weise einen ständigen Axialdruck des ganzen Schaftes, der unten $18\ m$ und oben $8,1\ m$ Durchmesser hat. Seine Wandstärke verringert sich von 40 auf $35\ cm$.

Und schließlich die $140\ m$ hohe Antenne, die aus einem Metallrohr

besteht, dessen Durchmesser mit der Höhe von 4 auf 0,72 m abnimmt. Der Antenne wegen wurde ja der ganze Bau überhaupt geplant. Nebenbei wird die Möglichkeit genutzt werden, das Panorama von Moskau zu betrachten. Deshalb wurden auf dem Turm 4 Aussichtsplattformen projektiert, und zwar in der Höhe von 147 bis 340 m. Auf ihnen können sich gleichzeitig 660 Besucher aufhalten. Außerdem wird in der Höhe von 326 - 337 m ein Restaurant mit 240 Plätzen mit Drehböden und Glaswänden gebaut werden, so daß man einen Rundblick auf Moskau hat. Berechnungen ergaben, daß Schwingungen nicht öfter als einmal pro Woche zu spüren sein werden, und zwar mit einer Amplitude von 8 cm bei einer Dauer von 10 sec. Bei weitem nicht jeder kann dieses "Schwanken" spüren.

Für den Personentransport werden Schnellifte mit einem Fassungsvermögen von je 15 Personen eingebaut. Auf diese Weise kann man bei einer Geschwindigkeit von 7 m/sec in nicht mehr als drei Minuten auf die höchste Aussichtsplattform gelangen.

So wird also die größte Turmspitze der Hauptstadt aussehen. Für ihre Errichtung wurden dank der kollektiven Bemühungen der Organisationen für Montage- und Bauarbeiten, der wissenschaftlichen Forschungsorganisationen und der Betriebe des Ministeriums für Montage- und Spezialbauarbeiten der UdSSR noch nie vorher verwendete Werkstoffe und Ausrüstungen geschaffen, neue Fertigungsverfahren und neue Kontrollmethoden für die Arbeitsqualität entwickelt.

Wenn bei gewöhnlichen Industriebauten der Beton 100 einander abwechselnden Frost- und Tauperioden standhalten muß, mußte man für diesen Turm diese Zahl verfünffachen. Den Zement für den Beton lieferte ein Werk aus Volkovysk in Belorussija (Weißrußland). Gemäß den technischen Sonderbestimmungen enthält er nicht mehr als 55 % Trikalziumsilikat und wird erst nach 3 Stunden nach dem Ansetzen abgebunden. Schotter aus dichten und festen Graniten mit den Fraktionen 5 - 15 und 15 - 32 mm wurde aus der Ukraine, aus der Grube Klesovo geliefert. Aus der bei Moskau gelegenen Grube Tatarov kam ein ausgezeichnete Quarzsand mit gleichmäßiger Körnermischung und einem Körnungsmodul von 2,8.

Es wurden die notwendigen Anweisungen ausgearbeitet, und Qualität der gelieferten Baustoffe, Herstellung der Betonmischung, Transport, Betoniervorgang und Nachbehandlung wurden sorgfältig kontrolliert. Abgesehen von der gewöhnlichen laboratorischen Kontrolle, wurden Festigkeit und Homogenität des eingebrachten Betons ständig durch die Ultraschallge-

räte "UZP-62" und "Beton" geprüft, und die Stärke der Schutzschicht, sowie der Bewehrungsabstand wurden durch die elektromagnetischen Geräte "IZS-1" kontrolliert.

Das alles ermöglichte die Herstellung eines Betons, dessen Festigkeit (bei einem Bruch von 450 kg/cm^2) auch nach 750 Frost- und Tauperioden nicht verringert wird. Der Homogenitätskoeffizient des Betons betrug 0,76. Einen derartigen Wert haben selbst die besten Werke für Stahlbetonfertigteile noch nicht erreicht.

Zur Errichtung des kompliziert geometrischen Turmgerüsts (doppelte Krümmung, veränderlicher Querschnitt) und des Kegelteils mit seinen schweren Decken wurden Spezialhaltevorrichtungen projektiert und gefertigt, Stütz- und Hängekonstruktionen, eine rechtwinklige und trapezförmige Kletterschalung aus Metall, die an den Bewehrungsgerüsten befestigt wurde, usw.

Das Betonieren eines so ungewöhnlichen und wichtigen Bauwerks ist trotz der reichen Ausrüstung mit technischen Mitteln selbst im Sommer keine einfache Sache. Eine Ausführung dieser Arbeit bei Minus-Temperaturen hielten viele Wissenschaftler und bedeutende Spezialisten überhaupt für unmöglich. Bauleiter und Bauarbeiter haben jedoch bewiesen, daß diese Meinung nicht richtig ist.

Es wurde eine besondere Technologie für das Betonieren im Winter ausgearbeitet und angewandt. Sie ermöglichte es nicht nur, die erforderlichen Betoneigenschaften zu wahren, sondern gewährleistete auch ein hohes Bautempo im Winter. Um Temperaturspannungen auszuschließen, war ein "leichtes" Beheizungsverfahren notwendig. Durch ein automatisches Regelungssystem konnte beim Betonieren des Kegels eine Temperatur von nahe $+ 45^\circ$ gehalten werden.

Außerst schwierig war das Betonieren des Turmschaftes im Winter. Hierbei wurde ein kombiniertes Betonbeheizungsverfahren angewandt: während sich der Beton im Medium mit positiver Lufttemperatur befand, erhielt er noch Wärme von den elektrothermischen Zwischenlagern der äußeren Verschalungsplatten. Um die Lufttemperatur in der Wärmeschutzkonstruktion in den Grenzen von $15 - 20^\circ$ zu halten, mußte den Wärmeaggregaten bis zur Höhe von 380 m Dampf zugeführt werden und das Kondensat so abgelassen werden, daß gefährliche hydrostatische Drucke in den Rohrleitungen vermieden wurden. Ein derartiges Heizungssystem wurde zum 1. Male entwickelt. Seine

hohe Betriebssicherheit ermöglichte es, einer strikten technologischen Forderung zu genügen und einen kontinuierlichen Arbeitsablauf durchzuführen. Fast 40 % des ganzen Betons wurden unter Winterbedingungen eingebracht.

Die Errichtung des Stahlbetonschaftes war ein schwieriges Examen für die Konstrukteure unseres Landes, die Mittel und Wege zur Mechanisierung dieses Baus geschaffen haben. Denn eine Ausrüstung zum Betonieren eines so hohen Bauwerks gab es vorher weder bei uns noch im Ausland. Die aus der internationalen Baupraxis bekannte Höhe einer analogen Konstruktion - von Stahlbetonschornsteinen - liegt bei 250 m. Es galt einmalige Arbeitsabläufe, Vorrichtungen und Ausrüstungen zu entwickeln. Und obgleich ein derartiger Komplex zum ersten Male entworfen und ausgeführt wurde, waren selbst die kleinsten Konstruktionsfehler unzulässig; sie hätten eine zu große Gefahr bedeutet. Dieses Examen wurde ehrenvoll bestanden. Die ganze Ausrüstung erwies sich als zuverlässig und hochproduktiv, war frei von Betriebsstörungen und zweckmäßig in der Wartung.

An erster Stelle in der technischen Ausrüstung des Baus steht berechtigterweise das Selbstförderaggregat mit seinem im Prinzip neuen Verfahren zur Errichtung von Stahlbetonbauten. Es besteht aus einem Kran von der Ladefähigkeit von 5 t mit einem 12,5 m langen Ausleger und zwei Personen- und Lastaufzügen, von denen jeder in 13 Minuten 7 Personen oder $0,8 \text{ m}^3$ Beton in 385 m Höhe fahren kann. Das durch eine Wärmeschutzplane überdeckte 350 t schwere komplizierte Aggregat hat außerdem ein inneres und äußeres Hängegerüst, sowie eine Verschalung, Sicherheitsschalen, eine Radialtransportanlage und eine Menge anderer Vorrichtungen.

Besonders interessant ist der Aufzug, der diesen Koloß nach oben zieht. Sein Fördersystem besteht aus einer 14 m langen Schraube mit einer Mutter, einem Getriebesystem und einem Elektromotor. Die ausfahrbaren Balken - die Ausleger - abwechselnd auf den frisch eingebrachten Beton, der eine Festigkeit von 100 kg/cm^2 erreicht hat, und auf die vorher betonierten Wände stützend, fährt er mit 5,25 m Ganghöhe nach oben.

Nicht geringeres Interesse als der Schraubenaufzug erregt auch die dabei verwendete Verschalung. Ihre Außenplatten haben eine Höhe von ebenfalls 5,25 m. Ihre Form, die Möglichkeit einer Radial- und Tangentialförderung ermöglichten es, den Schaft in der Form eines stumpfen Kegels mit einer Mantellinienneigung von 0,02 zu betonieren.

Die Bauarbeiten für den Turm erforderten außerordentliche Präzision. Unter dem Einfluß der Windbelastungen und der einseitigen Sonnenerwärmung hat der Schaft ständige Abweichungen, deren Größe und Richtung sich laufend ändern. Unter diesen Bedingungen war es äußerst schwierig, die genaue Vertikalität des Schaftes zu gewährleisten. Diese Aufgabe hatte eine geodätische Arbeitsgruppe aus 5 Spezialisten unter der Leitung von I.P. Dmitriev zu lösen.

Es wurden geodätische Kontrollverfahren für beliebige meteorologische Bedingungen entwickelt und angewandt. Die Ausladung des Zentrums erfolgte mit Hilfe vertikal projektierte optischer Geräte hoher Präzision, die speziell für diesen Bau hergestellt worden waren. Diese Geräte ermöglichten es, die Arbeiten auf einem Fundament durchzuführen, das ständig Schwankungen erfuhr. Trotzdem zeigen die Vermessungsergebnisse der Bauausführung, daß der Turmschaft mit 60 mm Abweichung von der Vertikalen errichtet wurde, was einem Fünftel der berechneten Abweichung entspricht.

An den Bauplatz des Turms grenzt jetzt ein kleines Gelände, auf dem Vormontagearbeiten für die Antenne durchgeführt werden. Sie besteht aus 18 Teilen - aus 25 t schweren Zargen. Mit Hilfe eines Krupenkrans mit 100 t Ladefähigkeit werden die Zargen auf den Montageböcken zu vier Antennenabschnitten zusammengebaut. Der fünfte 22 m lange Abschnitt wird im ganzen gefertigt. Diesem Arbeitsgang geht ein Antikorrosionsüberzug voran, der ebenfalls hier ausgeführt wird. Bei der Vormontage werden auch alle radio-technischen und Fernsehanlagen zusammengesetzt. Dann erfolgt ein vorläufiges Ausrichten der Antennen, worauf man sie erneut auseinandernimmt und die Zargen zur endgültigen Montage gelangen.

Zu diesem Zweck wird der 5-t-Kran des Aggregats auf den provisorischen Ausladeplatz verlagert. Mit seiner Hilfe montiert man ein Zahnradschabwerkzeug, mit dem man in einer Höhe von 385 m einen Brücken- und einen Kriechkran mit der Ladefähigkeit von je 25 t aufstellt. Der erste soll die Zargen zum provisorischen Ausladeplatz bringen, der zweite wird sie zur Montage weitergeben.

Am Bau des Fernsehturms ist eine große Anzahl von Organisationen beteiligt. Im großen und ganzen aber sieht das strukturelle Schema folgendermaßen aus: Der Organisation Glavmosstroj (Generalbeauftragter) obliegen die Arbeiten bis zum Nullzyklus (Gesamtheit der Arbeiten am Kellergeschoß eines Bauwerks), sowie alle allgemeinen Bau- und Ausstattungsarbeiten; die Hochbauarbeiten des Turms führen die Organisationen des Ministeriums für

Montage- und Spezialbauarbeiten der UdSSR aus, deren Tätigkeit die Verwaltung des Vysotspecstroj koordiniert; mit der Montage der radiotechnischen Apparatur und der Fernseheinrichtungen wurde der Trust Radiostroj des Ministeriums für Post- und Fernmeldewesen beauftragt, mit der Einstellung der Antennen eine Abteilung des Ministeriums für Radiotechnische Industrie der UdSSR.

Eine gute Organisationsstruktur trug zu einer maximalen Koinzidenz der nach einem Netzplan ausgeführten Arbeiten bei. Noch vor Beginn der Hochbauarbeiten - am 19. Mai 1963 - erfolgte die Bestätigung eines Direktivplans, der die Beendigung der Betonierung des 384-m-hohen Schaftes für den 1. September 1966 vorsah. Lang und schwierig war der Weg der Bauarbeiter; dennoch erreichten sie die Höhe zum festgesetzten Termin.

Tag und Nacht arbeitete eine ganze, aus vier Gruppen bestehende Brigade, an deren Spitze Leiter der einzelnen Arbeitsschichten standen. Die Tagesschicht dauerte 8, die Nachtschicht 6 Stunden. Nach einer Tages- und einer Nachtschicht bekamen die Montagearbeiter, Techniker und Ingenieure zwei Tage frei, nach einer Abendschicht einen Tag.

Alle 24 Stunden wuchs der Turmschaft durchschnittlich um 71 cm. Interessant ist, daß eine Analyse langjähriger statistischer Untersuchungen bei unvergleichbar einfacheren Stahlbetonrohren für eine Dauer von 24 Stunden eine mittlere Geschwindigkeit von nicht mehr als 50 cm ergab.

Eine große Hilfe für Bauleiter und Bauarbeiter war die gute Ausrüstung mit modernen Mitteln des Nachrichtenwesens. So ermöglichte es z. B. eine Lautsprecheranlage den Arbeitsleitern und jedem Arbeiter in der Höhe, sich mit allen Teilnehmern zu verständigen. Dieses System lief mit einem anderen System parallel, das auf einer original ausländischen Apparatur montiert war. Der Baubetrieb verfügt auch über ein weit verzweigtes Fernsprechnet und über andere Nachrichtenmittel.

Natürlich erforderte die Wichtigkeit dieses Bauprojekts und die Notwendigkeit einer tadellosen Beherrschung der vielen komplizierten technischen Ausrüstungen eine sehr hohe Qualifizierung der Bauarbeiter. Die Oberarbeitsleiter L.V. Slonimskij, A.K. Taskaev, I.I. Chirnyj, der Arbeitsleiter E.I. Rodionov, die Brigadenführer G.A. Šarov, V.Ju. Cirjul'nikov, A.K. Muračev und andere Montagearbeiter, Ingenieure und Techniker erfüllen diese Bedingung voll und ganz. Ein bedeutendes Maß an Arbeitserfahrung, die in den Organisationen des Minmontažspecstroj der UdSSR gesammelt wurde, kam auch der Projektierung des Turms zu statten, die in engem Kon-

takt mit den Baumeistern durchgeführt wurde. Das ermöglichte eine Verbesserung des Projekts und eine Beschleunigung der Bauarbeiten.

Viel Arbeit steht noch bevor. Noch wird an der Montage der Metallkonstruktionen der Liftschächte gearbeitet, wird die Spannung der Seilbewehrung fortgesetzt, werden die Räume eingerichtet und die radiotechnischen Ausrüstungen montiert. Schließlich ist die Antenne noch nicht angebracht. Aber schon heute wird die Erfahrung des Bauwerks in Ostanokino für die Errichtung anderer volkswirtschaftlich bedeutender Projekte fruchtbar gemacht. Es genügt zu sagen, daß die hier entwickelte Ausrüstung und die neuen Arbeitsverfahren die Möglichkeit bewiesen, Rauch- und Abzugsrohre mit 300 m Höhe und mehr zu errichten. Das Institut Teploproekt (Wärmeprojekt) beginnt bereits mit der Projektierung von Rohren bis zu 350 m Höhe. Der Bau solcher Rohre ist von großem ökonomischen Nutzen und gewährleistet die Reinheit der Luft über Städten und Arbeitersiedlungen.

Auch die erwiesene Möglichkeit, das ganze Jahr hindurch beliebig schwierige Stahlbetonhochbauten zu errichten, ist kaum überzubewerten. Und dann die für den Fernsehturm entwickelte Hülsenkeilverankerung. Sie findet bereits große Anwendung im Brückenbau. Es wird immer schwieriger, die technischen Neuerungen aufzuzählen, die mit diesem Projekt in die große Bauwelt eingingen. Ja, die bedeutendste Spitze Moskaus, obgleich noch nicht in Betrieb genommen, ist für die Menschen bereits von nicht geringem Nutzen.

L. Ljudkovskij, Erster Ingenieur
der Verwaltung Vysotspecstroj

Anmerkung des Übersetzers

Bei den Worten in < > handelt es sich entweder um eine Erläuterung des Übersetzers oder um eine Übersetzungsvariante, wobei in < > die wörtliche Übersetzung gegeben ist.

Ferner möchte ich noch auf folgende Veröffentlichungen über den Moskauer Fernsehturm hinweisen:

Eng. News-Record 175 (1965) Nr 9, S. 46-47 (Russia concretes to a new high.)

Stroitel'naja mehanika i rasčet sooruzenij 6 (1964) Nr 3, S. 37-42. (Nikitin, N.V.: Dinamičeskij rasčet vysokoj bašni.)

Beton i železobeton 12 (1966) Nr 5, S. 4-7. (Nikitin, N.V.: Železobetonnaja bašnja Moskovskogo telecentra.)

Formes nouvelles 6 (1958) H.1, S. 1364 (Modell des 500 Meter hohen Fernsehturms des Moskauer Fernsehentrums.)

17. I. 1967

Jernberg-Wesike