



Digitally signed by
Library TUM
Reason: I attest to the
accuracy and integrity
of this document

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
Facultatea Cadastru, Geodezie și Construcții
Catedra Construcției și Mecanica Structurilor

ION CIUPAC
doctor habilitat, profesor universitar

BETON ARMAT
ȘI
BETON PRECOMPRIMAT

Manual
Ediție suplimentară
(Revăzută și completată)

Editura “Tehnica-UTM”
Chișinău, 2013

ION CIUPAC. Beton armat și beton precomprimat. Manual.
Editura “Tehnica-UTM”, Chișinău, 2013 – 436 p.

Manualul este destinat studenților, masteranzilor, doctoranzilor, profesorilor și specialiștilor în domeniul construcțiilor din beton armat și beton precomprimat.

Autorul exprimă profunde mulțumiri următoarelor persoane:

- Academicianului, rectorului Universității Tehnice a Moldovei **Ion BOSTAN** pentru susținerea pregătirii și editării manualului
- Conferențiarului, doctorului în științe tehnice **Mihai POTĂRCĂ** pentru recenzie, redactarea tehnică, observațiile și propunerile la manual
- Doamnei **Liubovi USTUROI** pentru culegerea și redactarea parțială a manualului
- Fiului **Andrei CIUPAC** pentru perfectarea figurilor și machetarea manualului
- Doamnelor **Eugenia BALAN** și **Elvira GHEORGHIȘTEANU** pentru redactarea generală a manualului

Descrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții

Ciupac Ion

Beton armat și beton precomprimat: manual / Ion Ciupac;
Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Cadastru, Geodezie și
Construcții, Catedra de Construcții și Mecanica Structurilor – Chișinău:
“Tehnica-UTM”, 2013 – 436 p. – 260 ex.

ISBN 978-9975-45-268-7
691.328(075.8)
C 55

ISBN 978-9975-45-268-7

© Ion Ciupac, 2013

Editarea și multiplicarea Manualului fără permisiunea autorului este interzisă. De adresat la adresa **ionciupac@mail.ru**.

CUPRINSUL

PREFATĂ	11
1. INFORMAȚIE GENERALĂ.....	13
1.1. Noțiuni generale despre betonul armat.....	13
1.2. Factorii principali care asigură lucrul în comun al armăturii cu betonul	14
1.3. Noțiuni generale despre elementele din beton armat precomprimat	15
1.4. Avantajele și dezavantajele construcțiilor din beton armat.....	20
1.5. Domeniile de aplicare a construcțiilor din beton armat	23
1.6. Schiță istorică despre apariția și evoluția construcțiilor din beton armat, beton precomprimat și a metodelor de calcul	25
2. PROPRIETĂȚILE FIZICO-MECANICE ALE BETONULUI	30
2.1. Betonurile pentru construcții din beton armat și clasificarea lor	30
2.2. Structura betonului	31
2.3. Bazele rezistenței betonului.....	32
2.4. Rezistența betonului la diferite solicitări.....	34
2.4.1. Rezistența cubică și cilindrică a betonului.....	34
2.4.2. Rezistența prismatică a betonului	39
2.4.3. Rezistența betonului la întindere.....	41
2.4.4. Rezistența betonului la forfecare și la despicare.....	45
2.4.5. Rezistența betonului la comprimare locală (la strivire).....	47
2.4.6. Rezistența betonului la sarcină de lungă durată.....	48
2.4.7. Rezistența betonului la sarcini repetate.....	49
2.5. Influența timpului și a condițiilor de întărire asupra rezistenței betonului	50
2.6. Clasele și mărcile betonului.....	52
2.7. Deformabilitatea betonului	59
2.7.1. Deformațiile betonului la sarcină de scurtă durată	60
2.7.2. Deformațiile betonului la sarcină de lungă durată. Curgerea lentă și relaxarea tensiunilor în beton	63
2.7.3. Deformațiile betonului la sarcini repetate (ciclice).....	68
2.7.4. Deformațiile transversale ale betonului	69
2.7.5. Contracta și umflarea betonului	69
2.7.6. Deformațiile termice ale betonului	71
2.7.7. Deformațiile limită ale betonului	72

2.7.8. Determinarea deformațiilor de curgere lentă și de contracție ale betonului	73
2.7.9. Modulul de deformație al betonului.....	75
2.8. Durabilitatea betonului	81
3. ARMĂTURA PENTRU CONSTRUCȚII DIN BETON ARMAT ȘI BETON PRECOMPRIMAT	87
3.1. Rolul și tipurile armăturii	87
3.2. Proprietățile mecanice ale armăturii.....	89
3.2.1. Deformațiile limită ale armăturii.....	91
3.2.2. Proprietățile plastice ale armăturii	92
3.2.3. Ductilitatea armăturii	93
3.2.4. Modulul de elasticitate al armăturii	94
3.3. Clasele armăturii.....	95
3.4. Proprietățile fizice ale armăturii	98
3.5. Proprietățile tehnologice ale armăturii	98
3.5.1. Aderența armăturii cu betonul.....	98
3.5.2. Sudabilitatea armăturii	102
3.5.3. Capacitatea de îndoire a armăturii	102
3.6. Articole din armătură.....	104
3.6.1. Plase.....	104
3.6.2. Carcase	106
3.6.3. Articole din sîrmă.....	107
3.7. Îmbinarea armăturii	109
3.7.1. Îmbinarea armăturii nepretensionate.....	109
3.7.2. Îmbinarea armăturii pretensionate	118
3.8. Ancorarea armăturii	119
3.8.1. Ancorarea armăturii nepretensionate	119
3.8.2. Ancorarea armăturii pretensionate	122
3.9. Stratul de acoperire al armăturii cu beton.....	129
4. BAZELE EXPERIMENTALE ALE TEORIEI REZISTENȚEI CONSTRUCȚIILOR DIN BETON ARMAT ȘI EVOLUȚIA METODELOR DE CALCUL.....	131
4.1. Stadiile de lucru ale elementelor din beton armat.....	131
4.2. Evoluția metodelor de calcul ale elementelor din beton armat.....	135
4.2.1. Metoda de calcul a elementelor din beton armat la tensiunile admisibile	137

4.2.2. Metoda de calcul a elementelor din beton armat la eforturile de rupere	140
4.2.3. Metoda de calcul a elementelor din beton armat la stări limită ultime și la stări limită de serviciu.....	143
4.3. Rezistențele de calcul ale betonului	146
4.4. Rezistențele de calcul ale armăturii.....	148
4.5. Recomandații la alegerea armăturii și a betonului pentru elemente și construcții din beton armat și beton precomprimat	150
4.5.1. Betonul	151
4.5.2. Armătura.....	153
4.6. Sarcinile și clasificarea acestora.....	154
4.6.1. Combinări de sarcini	158
4.7. Gradul de importanță al clădirilor și edificiilor.....	162
5. DATE SUPLIMENTARE PENTRU CALCULUL ELEMENTELOR DIN BETON PRECOMPRIMAT	164
5.1. Valorile inițiale ale tensiunilor în armătura pretensionată și în beton .	164
5.2. Pierderile de tensiuni în armătura pretensionată	167
5.3. Gruparea pierderilor de tensiuni.....	173
5.4. Efortul de precomprimare a betonului și excentricitatea lui	175
5.5. Caracteristicile geometrice ale secțiunii ideale (reduse) a elementului din beton armat	177
5.6. Tensiunile în beton de la efortul de precomprimare	179
5.7. Valoarea de calcul a tensiunilor în armătura pretensionată din zona comprimată în elementele din beton precomprimat	183
6. METODA GENERALĂ DE CALCUL LA REZISTENȚĂ (STAREA LIMITĂ ULTIMĂ) ÎN SECȚIUNI NORMALE ALE ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT ȘI BETON PRECOMPRIMAT CU SECȚIUNEA DE ORICE PROFIL SIMETRIC	185
6.1. Noțiuni generale.....	185
6.2. Diagrama tensiunilor în betonul din zona comprimată și înălțimea de calcul a ei	187
6.3. Înălțimea limită a zonei comprimate și procentul maximal de armare	193
6.4. Metoda generală de calcul la rezistență în secțiuni normale (SLU)	197

7. ELEMENTE ÎNCOVOIATE	203
7.1. Elemente încovoiate și alcatuirea lor.....	203
7.2. Noțiuni generale privind calculul la stări limită ultime ale elementelor/constructiilor încovoiate din beton armat.....	212
7.3. Calculul la starea limită ultimă (la rezistență) în secțiuni normale ale elementelor încovoiate cu forma secțiunii de orice profil simetric.....	214
7.3.1. Elemente armate simplu cu secțiune dreptunghiulară	218
7.3.2. Elemente armate dublu cu secțiune dreptunghiulară	223
7.3.3. Elemente cu secțiunea în formă de T, T-dublu și alte secțiuni.....	227
7.3.4. Recomandații pentru calculul elementelor încovoiate din beton precomprimat.....	235
7.4. Calculul elementelor încovoiate la starea limită ultimă în secțiuni înclinate.....	236
7.4.1. Schemele de rupere ale elementelor încovoiate în secțiuni înclinate	236
7.4.2. Verificarea la rezistență a unei fișii comprimate de beton între două fisuri înclinate	239
7.4.3. Calculul la rezistență a elementelor încovoiate din beton armat la acțiunea forței tăietoare. Cazul general.....	240
7.4.4. Determinarea poziției de calcul a secțiunii înclinate	245
7.4.5. Metoda practică de calcul a etrierelor	246
7.4.6. Calculul la rezistență în secțiuni înclinate ale elementelor fără armătură transversală	250
7.4.7. Calculul la rezistență în secțiuni înclinate la acțiunea momentului încovoietor	252
7.4.8. Calculul la rezistență în secțiuni înclinate ale elementelor cu înălțimea variabilă a secțiunii.....	257
7.5. Calculul și alcătuirea consolelor.....	259
7.6. Elemente încovoiate cu torsiune.....	264
7.6.1. Noțiuni generale	264
7.6.2. Schemele de rupere în secțiuni spațiale	265
7.6.3. Metoda generală de calcul la rezistență în secțiuni spațiale ..	265
7.6.4. Calculul elementelor cu secțiune dreptunghiulară.....	268
7.6.5. Calculul elementelor cu secțiunea în formă de T sau T-dublu.....	270

8. ELEMENTE COMPRIMATE	273
8.1. Elemente comprimate și alcătuirea lor	273
8.2. Calculul elementelor comprimate cu excentricitate accidentală....	277
8.3. Calculul la rezistență în secțiuni normale ale elementelor comprimate excentric cu forma secțiunii de orice profil simetric .	281
8.4. Evaluarea influenței flambajului și duratei de acțiune a sarcinii asupra rezistenței elementelor comprimate excentric	285
8.5. Calculul elementelor comprimate excentric cu secțiune dreptunghiulară	288
8.5.1. Elemente cu excentricitate mare	288
8.5.2. Elemente cu excentricitate mică	292
8.5.3. Elemente cu armătură simetrică	295
8.6. Calculul elementelor comprimate excentric cu secțiunea în formă de T sau T- dublu	297
8.7. Elemente comprimate cu secțiunea transversală rotundă	301
8.8. Calculul la rezistență al elementelor comprimate excentric la acțiunea forței tăietoare	305
8.9. Calculul elementelor din beton armat la comprimare locală	305
8.10. Străpungere	311
8.10.1. Noțiuni generale	311
8.10.2. Scheme de acțiune a sarcinii locale și determinarea perimetrului mediu de calcul.....	312
8.10.3. Calculul la străpungere a elementelor fără armătură transversală.....	315
8.10.4. Calculul la străpungere a elementelor cu armătură transversală.....	317
8.10.5. Calculul plăcii la forfecare pe perimetrul stîlpului	319
9. ELEMENTE ÎNTINSE.....	321
9.1. Elemente întinse și alcătuirea lor.....	321
9.2. Calculul elementelor întinse centric	322
9.3. Calculul elementelor întinse excentric cu secțiune de orice profil simetric.....	324
9.4. Elemente întinse excentric cu secțiune dreptunghiulară	328
9.4.1. Elemente cu excentricitate mică	328
9.4.2. Elemente cu excentricitate mare	330
9.5. Calculul elementelor întinse excentric la rezistență în secțiuni înclicate.....	334

10. CALCULUL ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT ȘI BETON PRECOMPRIMAT LA STĂRI LIMITĂ DE SERVICIU (SLS).....	335
10.1. Stare limită de fisurare	335
10.2. Cerintele la fisurare a elementelor din beton armat și beton precomprimat.....	336
10.3. Calculul elementelor din beton armat și beton precomprimat la apariția fisurilor în secțiuni normale	337
10.3.1. Elemente întinse centric	339
10.3.2. Elemente încovoiate, comprimate și întinse excentric. Metoda de calcul cu momentul încovoietor de nucleu (sîmbure)	340
10.4. Tensiunile în armătură și în beton în stadiul II de lucru al elementelor din beton armat și beton precomprimat	345
10.5. Determinarea deschiderii fisurilor în secțiuni normale	350
10.5.1. Calculul deschiderii fisurilor.....	350
10.5.2. Verificarea deschiderii fisurilor fără calcul	358
10.6. Calculul la fisurare în secțiuni înclinate	360
10.6.1. Calculul la apariția fisurilor înclinate	360
10.6.2. Calculul la deschiderea fisurilor înclinate.....	364
10.7. Verificarea închiderii fisurilor.....	366
10.7.1. Închiderea fisurilor în secțiuni normale	366
10.7.2. Închiderea fisurilor în secțiuni înclinate	368
10.8. Stare limită la deformații	369
10.8.1. Noțiuni generale	369
10.9. Determinarea rigidității și a săgeții elementelor fără fisuri în zona întinsă	371
10.10. Determinarea rigidității și a săgeții elementelor cu fisuri în zona întinsă	373
10.11. Determinarea săgeții de la forța tăietoare.....	378
10.12. Determinarea săgeții totale de calcul și verificarea elementelor la starea limită de deformații	380
10.13. Verificarea valorii săgeții fără calcul	381
10.14. Unele recomandări la stabilirea rigidității secțiunilor elementelor pentru determinarea eforturilor în structuri.....	383
11. ELEMENTE DIN BETON ARMAT CU ARMĂTURĂ RIGIDĂ.....	385
11.1. Noțiuni generale	385
11.2. Materiale pentru construcții din beton armat cu armătură rigidă	388
11.3. Alcătuirea elementelor din beton armat cu armătură rigidă.....	389

11.4. Calculul la stări limită ultime (SLU).....	391
11.5. Elemente încovoiate	391
11.5.1. Calculul la rezistență în secțiuni normale ale elementelor dreptunghiulare.....	392
11.5.2. Calculul la rezistență în secțiuni normale ale elementelor în formă de T	395
11.5.3. Calculul la rezistență în secțiuni înclinate	397
11.6. Elemente comprimate	399
11.6.1. Elemente comprimate cu excentricitate accidentală.....	399
11.7. Elemente comprimate excentric	401
11.7.1. Elemente comprimate cu excentricitate mare	401
11.7.2. Elemente comprimate cu excentricitate mică	404

Normativele și documentele tehnice folosite la elaborarea manualului.....	408
----------------------------------------------------------------------------------	------------

ANEXE

1. Coeficientul de variație a rezistenței betonului la compresiune	410
2. Corelația între clasele actuale și mărcile anterioare ale betonului la rezistență la compresiune	411
3. Valorile coeficienților k_i și m_i pentru determinarea măsurii limită a curgerii lente $C(\infty, t_0)$ și a deformațiilor de contracție ale betonului .	413
4. Rezistențele de calcul și modulul de elasticitate ale betonului.....	417
5. Clasificarea clădirilor și edificiilor in funcție de gradul lor de importanță.....	418
6. Valorile coeficientului de siguranță γ_n în funcție de gradul de importanță al clădirii (vezi anexa 5).....	419
7. Coeficienții condițiilor de lucru ale betonului pentru calculul elementelor și construcțiilor din beton, beton armat și beton precomprimat	420
8. Coeficientul condițiilor de lucru ale betonului pentru sarcină ciclică $\gamma_{c6} = \gamma_{c,fat}$	422
9. Coeficientul condițiilor de lucru ale betonului la îngheț și dezgheț periodic γ_{c7}	422
10. Rezistențele de calcul ale armăturii pentru stări limită de serviciu și stări limită ultime	423
11. Valorile caracteristice ale unor sarcini temporare uniform distribuite din SNiP 2.01.07-85*	424

12. Valorile limită ale înălțimii relative a zonei comprimate a betonului ξ_{cu} pentru calculul elementelor încovoiate, comprimate și întinse excentric cu excentricitate mare.....	427
13. Valorile coeficienților ξ_c , α_0 și η pentru calculul la rezistență în secțiuni normale ale elementelor încovoiate cu secțiune dreptunghiulară, armate simplu.....	428
14. Ariile secțiunilor armăturii și masa acesteia	429
15. Valorile coeficienților φ_c și φ_{sc} pentru calculul elementelor comprimate centric.....	430
16. Clasele condițiilor de lucru ale elementelor din beton armat și beton precomprimat în funcție de starea mediului ambiant în conformitate cu normele europene EN 206-1	431
17. Valorile limită ale raportului apă/ciment (W/C), clasei betonului și cantității de ciment ale betonului în funcție de clasele de expunere ale construcțiilor conform normelor europene EN 206-1	434
18. Valorile coeficientului s pentru calculul săgeții	435

PREFAȚĂ

Acest manual expune calculul elementelor din beton armat și beton precomprimat la stări limită ultime și de serviciu. Este elaborat în baza metodelor de calcul și de alcătuire a elementelor din beton armat și beton precomprimat, care se folosesc în Republica Moldova în ultimii 50 de ani cu unele perfectări și precizări în lumina normelor RM NCM F.02.02-2006. În lucrare se folosesc noțiuni, ipoteze și condiții din cursurile: Materiale de construcții, Tehnologia materialelor, Mecanica teoretică, Rezistența materialelor, Mecanica structurilor, Teoria elasticității și plasticității, Teoria probabilităților și altele.

Cursul este destinat studenților de la specialitățile de construcții și corespunde programei de studii pentru specialitatea Construcții civile, industriale și agricole. Totodată sunt incluse și materiale adăugătoare la programa de studii utile pentru masteranzi, doctoranzi, asistenți, proiectanți, experți și alți specialiști în domeniul construcțiilor din beton armat. Sunt incluse și unele materiale care au lipsit în Normele ex-sovietice și lipsesc și în normele Republicii Moldova cum ar fi: durabilitatea betonului, ductilitatea armăturii, sudabilitatea armăturii, coeficientul formei suprafeței exterioare a armăturii, compartimentul “Elemente din beton armat cu armătură rigidă”, corelația dintre clasele actuale și mărcile anterioare ale betonului la compresiune și altele.

Pentru familiarizarea studenților și specialiștilor cu normele europene, în lucrare sunt folosite pe larg materiale din aceste norme: EN 1990:2002 (Eurocod 0), EN 1991-1-1:2002 (Eurocod 1), EN 1992-1-1:2004 (Eurocod 2), EN 1994-1-1:2004 (Eurocod 4), EN 2006-1, ISO 3898:1997 și altele.

În compartimentele în care este examinat calculul construcțiilor din beton armat și beton precomprimat la stări limită ultime (SLU) deseori se menționează că la baza metodei de calcul stau binecunoscutele condiții de echilibru din statică: suma momentelor încovoietoare și proiecțiilor tuturor acțiunilor exterioare și eforturilor interioare, cu scopul de a înțelege și a însuși mai bine metoda de calcul.

Uneori s-ar părea că autorul descrie prea detaliat unele noțiuni, care sunt cunoscute din alte cursuri. Aceasta se face intenționat pentru ca să se înțeleagă mai bine sensul și metoda de calcul a construcțiilor din beton armat și de către persoane mai puțin pregătite.

În capitolul 1 sunt prezentate noțiuni generale despre betonul armat și betonul precomprimat și factorii de bază care asigură lucrul în comun al

armăturii cu betonul. Sunt descrise avantajele și dezavantajele construcțiilor din beton armat, domeniile de aplicare și o schiță istorică.

În capitolele 2 și 3 sunt expuse proprietățile fizico-mecanice ale betonului și armăturii.

În capitolul 4 sunt descrise stadiile de lucru ale elementelor din beton armat și evoluția metodelor de calcul. Sunt date relații pentru determinarea valorilor de calcul ale rezistențelor betonului și ale armăturii. Este prezentată o informație amplă despre sarcini și acțiuni, despre clasificarea lor și combinările (grupările) de sarcini. Toată această informație corespunde recomandărilor din normele europene EN 1990:2002, EN 1991-1-1:2002 și EN 1992-1-1:2004.

Capitolul 5 cuprinde informație suplimentară privind calculul elementelor din beton precomprimat.

În capitolul 6 este prezentată metoda generală de calcul la rezistență (la stări limită ultime) în secțiuni normale. Este argumentată ipoteza privind forma diagramei tensiunilor în betonul din zona comprimată a elementelor încovoiate, comprimate și întinse excentric cu excentricitate mare și este propusă relația pentru determinarea înălțimii limită a ei.

În capitolele 7...9 este dată metoda generală de calcul la starea limită ultimă (SLU) în secțiuni normale și înclinate ale elementelor încovoiate, comprimate și întinse centric și excentric.

În capitolul 10 este descrisă metoda de calcul a elementelor din beton armat și precomprimat la stări limită de serviciu (SLU). Sunt formulate cerințe noi privind fisurarea elementelor. Sunt date recomandări privind limitarea deschiderii fisurilor și a săgeții fără calcul, recomandări privind stabilirea rigidității secțiunilor elementelor din beton armat pentru determinarea eforturilor în structuri (pentru calculul static).

În capitolul 11 este examinată metoda de calcul și alcătuirea elementelor din beton armat cu armătură rigidă.

Acest capitol este inclus în lucrare în afara programei de studii pentru a familiariza studenții și specialiștii în domeniul construcțiilor cu elementele din beton armat cu armătură rigidă.

Cu regret, în ultimii 25...30 de ani aceste construcții au dispărut din manuale și documentele tehnice, de aceea absolvenții din ultimii ani cunosc puțin despre existența acestor elemente, care pot fi folosite în construcții. În general, ele sunt recomandate pentru clădiri multietajate din beton monolit, dar pot fi folosite și pentru clădirile cu mai puține etaje, când este necesar a micșora termenul de construire a clădirii și pentru reabilitarea construcțiilor.

În unele cazuri, aceste elemente pot fi economic mai avantajoase decât construcțiile obișnuite.

Normativele și documentele tehnice folosite la elaborarea manualului

1. CM F.02.02-2006. Calculul, proiectarea și alcătuirea elementelor de construcții din beton armat și beton precomprimat. Chișinău, 2006
2. EN 1990:2002. Eurocod 0. Bazele proiectării structurilor
3. EN 1991-1-1:2002. Eurocod 1. Acțiuni asupra structurilor. Partea 1-1. Acțiuni generale. Încărcări utile pentru clădiri
4. EN 1992-1-1:2004. Eurocod 2. Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1. Reguli generale și reguli pentru clădiri
5. EN 1994-1-1:2004. Eurocod 4. Proiectarea structurilor compozite din oțel și beton
6. EN 206-1:2000. Beton. Partea 1. Specificație, performanțe, producție și conformitate
7. ISO 3898:1997. Bazele proiectării structurilor. Notațiile. Simbolurile generale
8. NP 033-99. Cod de proiectare pentru structuri din beton armat cu armătură rigidă. Buletinul construcțiilor, vol. 3-4, București, 2000
9. GP 042-99. Ghid de proiectare și exemple de calcul pentru structuri din beton armat cu armătură rigidă. Buletinul construcțiilor, vol. 3-4, București, 2000
10. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения
11. СНиП 2.1.07-85*. Нагрузки и воздействия
12. СП 52-101-2003. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры
13. СП 52-102-2004. Пособие по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелого бетона
14. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой, Москва, 1978