Зулпуев А.М., Ганыев А.М., Асанова С.А., Турсунов И.Р., Абдыкеева Ш.С.

ЧЫҢАЛУУ-ДЕФОРМАЦИЯ ТҮРҮНДӨГҮ КӨП КАБАТТУУ ИМАРАТТАР ЖАНА ИРИ ИМАРАТТАРДАГЫ ТЕМИР-БЕТОН КОНСТРУКЦИЯЛАРЫН ИЗИЛДӨӨ

Зулпуев А.М., Ганыев А.М., Асанова С.А., Турсунов И.Р., Абдыкеева Ш.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

A.M. Zulpuev, A.M. Ganyev, S.A. Asanova, I.R. Tursunov, Sh.S. Abdykeeva

STUDY OF STRESSED-DEFORMED STATE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN MULTI-FLOOR BUILDINGS AND FACILITIES

УДК: 624.012.35-624.012.45

Бул макалада топтолгон деформациялар методунун негизинде көп кабаттуу имараттар жана ири имараттарынын темир-бетон конструкцияларынын эсептик моделин эсептөө жана өнүктүрүү каралган. Ошондой эле бетон жана арматуралардын реалдуу сызыктуу эмес ийкемдүүлүк диаграммасына ар кандай узак аралыктагы жүк таасирин эске алуусу каралган.

***Негизги сөздөр:** топтолгон деформациялар методу, эсептөө моделдери, жасалма байланыш, ички жана сыртқы ийкемсиздик матрицаларын алуу ыкмасы, ар кандай узак аралыктагы жүк таасирлери боюнча бетон жана арматуралардын реалдуу ийкемдүүлүк диаграммасын эсепке алуу.*

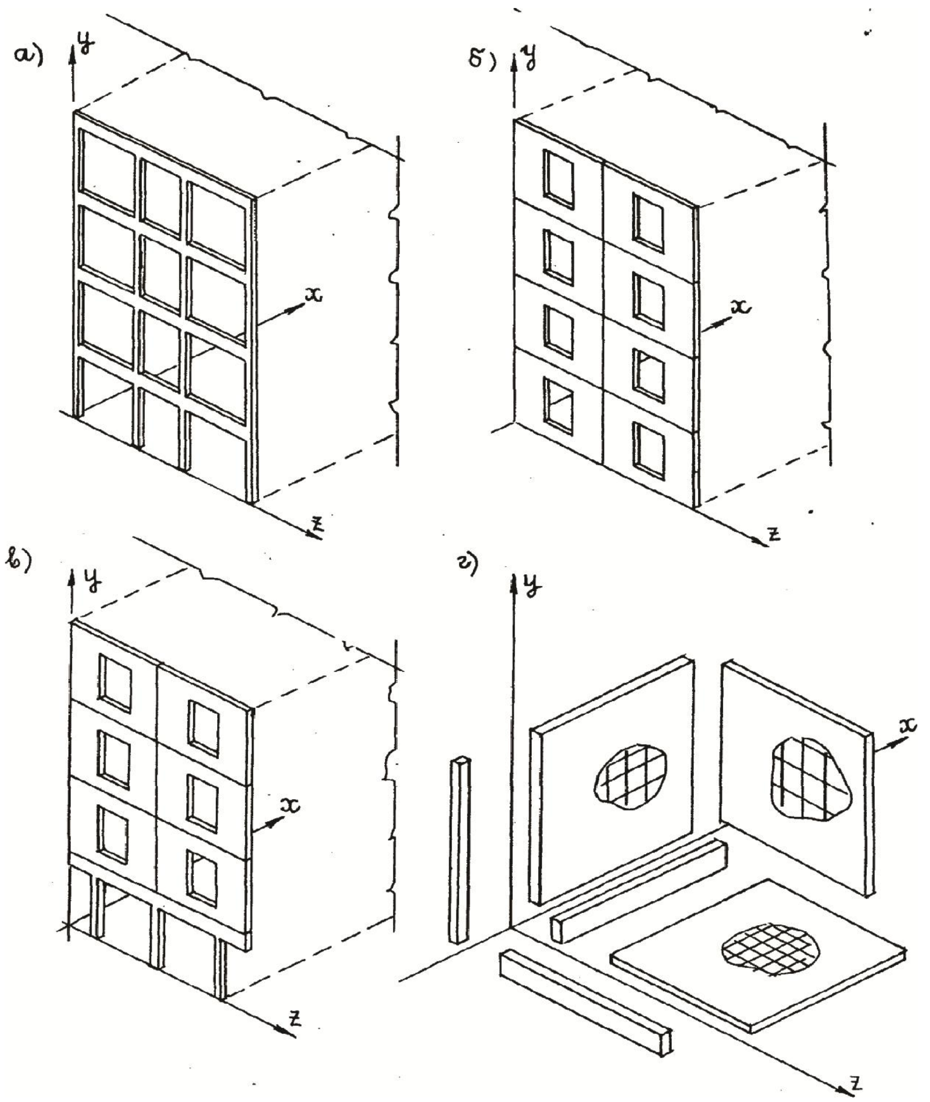
В настоящей статье рассматриваются расчет и разработка расчетных моделей для железобетонных конструкций многоэтажных зданий и сооружений на основе метода сосредоточенных деформаций. А также рассмотрен учет реальной диаграммы нелинейного деформирования бетона и арматуры при различной длительности нагружения.

***Ключевые слова:** метод сосредоточенных деформаций, расчетные модели, фиктивные связи, методы получения матрицы внутренней и внешней жесткости, учет реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры при различной длительности нагружения.*

In this article, calculation and development of computational models for reinforced concrete structures of multi-storey buildings and structures based on the method of concentrated deformations are considered. The real diagrams of nonlinear deformation of concrete and reinforcement for various loading times are also considered.

***Key words:** concentrated deformation method, calculation models, fictitious links; methods of obtaining a matrix of internal and external rigidity, taking into account real diagrams of concrete and reinforcement deformation at different loading times.*

Курулуш негизин, практика жана адабият иликтөөлөрүнөн алынган анализдер көрсөткөндөй, заманбап көп кабаттуу имараттардын жана ири имараттардын жүк көтөрүүчү системалары стерждүү жана жалпак конструкциялардан түзүлүп, алардын жалпы саны көптөгөн, жүздөгөн жана миңдеген болушу мүмкүн (1-сүрөт). Айрым элементтер жана алардын айкалышы эсептөөнүн ишенимдүүлүгү [1, 2-5], конструкцияны жасалгалоо, орнотуу жана иш стадиясында бардык жүктөр жана күч таасири боюнча берилүүгө тийиш. Имараттардын кабаттарынын көбөйүшү, татаал жана оор түзүлүштөрдү пайда кылуу менен жоопкерчилигин күчөтөт.



1-сүрөт. Жүк көтөрүүчү системадагы көп кабаттуу имараттар жана ири имараттар конструкциялары: а) – каркастуу; б) – (жалпак) панелдүү; в) – аралаш; г) – жүк көтөрүүчү системадагы стержиндүү жана жалпак элементтер.

Алардын жоопкерчилиги ошол эле учурда турак жай же башкаруу көп кабаттуу имараттарында миңдеген адамдардын жайгашуусу, алардын өмүрү жана коопсуздугу бул структуралар менен алектенген түзүүчүлөрдүн жана куруучулардын билимдерине жана көндүмдөрүнө түздөн-түз көз каранды экендигин далилдеп турат. Бул эсептөөлөргө караганда, бир кыйла маанилүү этабы жүк көтөрүүчү системасын камтыган айрым темир-бетон конструкциялары үчүн эсептөө моделдерин түзүү болуп саналат. Эсептөө моделдери метафизикалык ырааттуу эки талаптарга жооп бериши керек: бир жагынан, эсептөө модели тийиштүү темир-бетон конструкцияларынын окшоштурулган элементеринин өзгөчөлүктөрүн чагылдырууга тийиш, экинчи жагынан, ал эсептөө техникаларын колдонуу менен ишке ашыруу үчүн жөнөкөй жана жеңил болушу керек [6-10].

Бул эмгекте, изилдөө жана усулдук шарттарынын негизги багыттарын иштеп чыгуу, долбоорлоо, алардын эсептөө көп кабаттуу имараттар жана ири имараттарынын темир-бетон конструкцияларынын, ошондой эле түзүлгөн негизги илимий-изилдөө иштерди алып келген, ар кандай узак аралыктагы жүк көтөрүү боюнча бетон жана арматураларынын «чыңалуу-деформация» катышынын өзгөчөлүктөрүн талдоо.

Учурда, адабият иликтөөлөрү аркылуу көп кабаттуу имараттар жана ири имараттардын жүк көтөрүүчү системаларынын эсептөө моделдери төмөнкү категорияда негизделген: континуалдык, дискреттик-континуалдык жана дискреттик [2, 11].

Азыркы мезгилде, бир топ эле алгылыктуу, натыйжалуу жана келечектүү деп белгиленген дискреттик-континуалдык эсептөө модели кабыл алынган; анын иштөө жөндөмдүүлүгү жогору жана келечекте өнүгүү мүмкүнчүлүгүнө ээ. Бирок, дискреттик-континуалдык эсептөө модели компьютер технологиясы өнүккөн сайын, дискреттик эсептөө модели менен алмаштырылып эсептелинип келет (М:. топтолгон деформациялар методу (метод сосредоточенных деформаций МСД) болуп саналат).

Топтолгон деформациялар методу бирден-бир сандык эсептөө методдорунун белгисиз статистикалык стерждендүү жана жалпак системаларынын бири болуп саналат. Топтолгон деформациялар методунун негизи болуп берилген стерждендин бир канча элементерге бөлүнүшү менен, чектеш элементтердин ортосундагы топтоштурулган деформациялар басымы болуп эсептелет [6, 7, 12].

Биз, бир нече артыкчылык тизмегин айтсак болот, башкача айтканда, топтолгон деформациялар методунун артыкчылыктары.

Топтолгон деформациялар методунун негизги артыкчылыгы – бул жөнөкөй кесилиштердеги, элементтердеги жана стерждендүү системадагы ички жана сырткы ийкемсиздик матрицаларын түзүү.

Дагы бир артыкчылыгы топтолгон деформациялар методунун татаал чыңалуу-деформация түрлөрү жөнөкөй компоненттерге ачык бөлүнүшү (ийилүү, кысылуу-созулуу ж.б.).

Топтолгон деформациялар методунун үчүнчү артыкчылыгы – элементтердин ортосундагы байланыштарын сактоо жөнөкөй эсепке алуу болуп саналат.

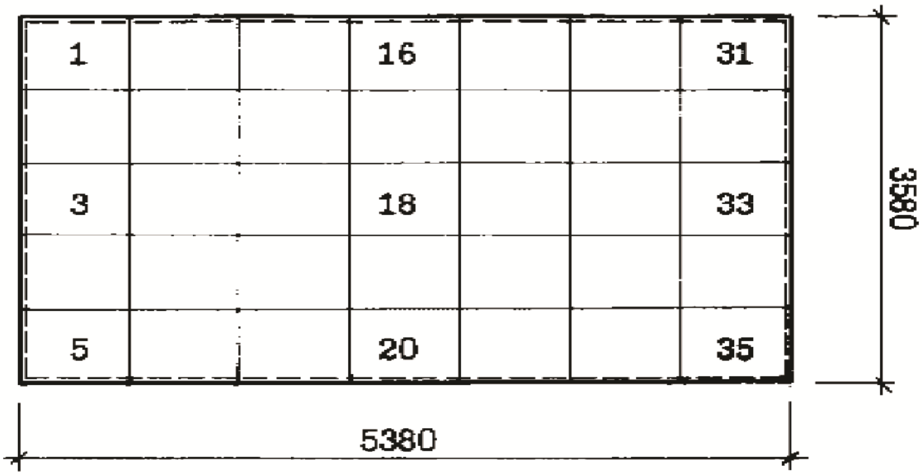
Өнүгүп келе жаткан багыттагы топтолгон деформациялар методунун төртүнчү артыкчылыгы – бул кеңири таралган жалпак кесилиштер гипотезасын пайдалануу болуп саналат.

Бирок, топтолгон деформациялар методу – негизинен, ар кандай мөөнөттөрү боюнча тышкы жүк таасирлери аркылуу, бетон жана арматуралардын реалдуу деформациялар диаграммасын эске алуу менен элементтерин эсептөөгө багытталган. Бул учурда, ар кандай узундугу боюнча өзгөрүүгө ээ болгон ийкемдүү стерждендин бөлүнүүсү, кадимки чектүү элемент модели сыяктуу бөлүүгө болот; бул учурда топтолгон деформациялар методу менен чектүү элемент методу аркылуу элементтерин бөлүштүрүү даражасы жагынан бири-бирине окшоштук жактары бар экендигин белгилеп кетсек болот.

Топтолгон деформациялар методунда элементтер ийкемсиздик матрицалары, кесилиштеги ийкемсиздик матрицасы аркылуу өзгөрүлбөс координаттар огунан кесилиш борбордук огуна өтүүсү жок түздөн-түз курулат.

Бул жагдай тастыктагандай топтолгон деформациялар методу маанилүү артыкчылыгы ээ болуп саналат [7-11]. Бирден бир маанилүү кадамдарды тандап алуу даражасын суроо талабы туулат: бул эсептөө көлөмүн кыскартууда жөнөкөй аянтчаларын азайтуу бир аз саны менен гана мүмкүн болот жана ошол эле учурда зарыл так ичинде окшоштурулган башталгыч кесилиши бардык геометриялык өзгөчөлүктөрүн сактап калуу үчүн оптималдуу болушу керек. Реалдуу жаракалары жок анизотроптуу ишке ийкемдүү этабка, туруктуу калындыктагы ийилгичтүү тактайчаны, карап көрөлү.

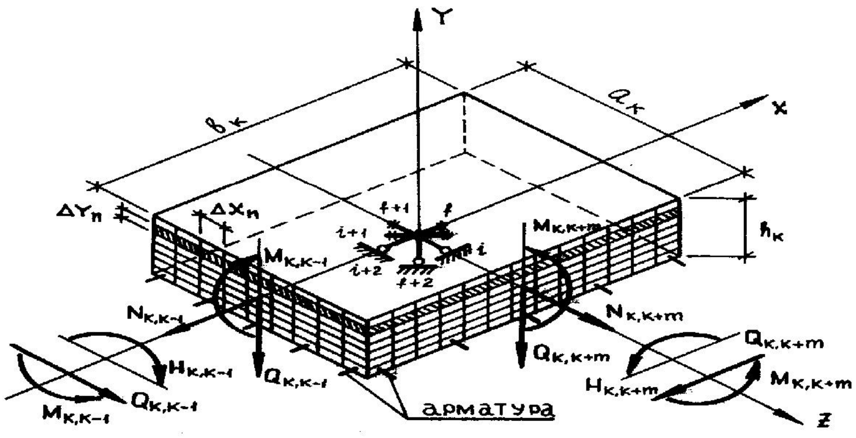
Негизги ийилгичтүү темир-бетон конструкциясы туруктуу кесилиштеги тегиздикте топтолгон деформациялар тик бурчтуу (чарчы) $\mathbf{a_k \cdot b_k}$ элементтер көлөмүнө бөлүнөт (2-сүрөт).



2-сүрөт. Курама темир-бетон конструкцияларынын чектүү элементтерине бөлүүнүсү.

Бул «топтолгон деформациялар методунун элементерин» кантип катаал ийилүүсү, чыйралуусу жана жылышуусу (кесилүүсү) боюнча карап, ага чейинки жана анын менен тегиздиктин ортосунда шарттуу (жасалма) байланышты киргизүү.

Ийилүүгө, чыйралууга, жылышууга жана кысылуу-чозулууга каршылык жөндөмдүүлүгү; катаал элементтердин мүнөздүүлүгүнүн байланыштары белгиленүүсү керек, ошол эле мезгилде берилген темир-бетон конструкциялары жана алардын топтолгон деформациялар методунун моделдери барабар болуусу зарыл.



3-сүрөт. Топтолгон деформациялар методунун эсептөө модели (мисалы: 18-элемент).

Чыңалуу-деформациялар түрүндөгү темир-бетон конструкциялары алгебралык сызыктуу тендемелер системасы аркылуу кыймылдар методунун жалпы түрүндө берилиши

$$[R]\cdot\{V\} = \{P\} \qquad (1)$$

мында: [R] - баары үчүн сырткы ийкемсиздик матрицасынын эсептөө системасы; анын элементтери $R_{i,j}$ – реакциясынын i-й байланыш кыймылдар методу j-й жылышуу байланыш бирдиги менен;

{V} - белгисиз кыймылдар багыты, анын элементтери - топтолгон деформациялар методунун кыймылдаган элементтери (эки бурчтуу жана бир сызыктуу ар бирине);

{P} - жүктөр багыты, анын элементтери - багытталган күчтөр жана ийилүү моменты, топтолгон деформациялар методунун элементтерин бириктирүү түйүндөрүндөгү аракеттери.

Кыймылдардын негизинде жалпы көз карандылыгы тарабынан ички күчтөр аныкталат

$$\{F\} = [Э]\cdot\{\lambda\} \qquad (2)$$

мында: [F] - ички күчтөрдүн багыты, алардын элементтери тегиздикте топтолгон деформациялардын ички күчтөрүнөн турат (ийилүү моменти M, чыйралуу моменти H жана туурасынан кеткен күч Q, бул топтолгон деформациялар методунун элементтеринин төрт тарабынан берилген күчтөр);

{Э} - ички ийкемсиздик матрицасынын системасы, анын элементтери - тегиздикте топтолгон деформациялардын ички күчтөрүнүн өз ара кошуна элементинин жылышуу бирдигинен;

{ λ } - топтолгон деформациялар багыты (өз ара топтолгон деформациялар методунун элементтеринин жылышуусу жана айлануусу).

Топтолгон деформациялар методунун бардык элементтеринин тегиздикте топтолгон деформациялары үчүн жалпак кесилиштер гипотезасы кабыл алынган. Алгебралык тендемелердин системасы (1) кыймылдар багыты {V} аркылуу чечилди. Бул үчүн сырткы ийкемсиздик матрицасы [R] жана түйүндүк жүктөр багыты {P} белгилүү болушу керек.

Эсептөө моделин кабыл алуу менен, атайын кыйынчылыктар жок эле, тышкы күчтөр багытын {P} түзүүгө болот. Негизги кыйынчылыктар сырткы ийкемсиздик матрица системасынын [R] калыптануусу болуп саналат. Аларды куруу үчүн топтолгон деформациялар методунун элементтерине бирдик кыймылдар ыкмасын белгиленген багыттагы байланыштар менен колдонууга болот.

Бирок, тажрыйба көрсөткөндөй, бул формуланы пайдалануу ыңгайлуу экенин көрсөттү

$$[R] = [A]\cdot[K]\cdot[A]^{т} \qquad (3)$$

мында: [A] - топтолгон деформациялар методунун элементтеринин тең салмактуулук тендемелер коэффициентер матрицасы;

$[A]^T$ - матрицасы, тең салмактуулук тендемелер коэффициентер матрицасы [А]нын транспонировандуулугу;

[K] - ички ийкемсиздик кесилиш матрицасы.

Формула (2)-ге ылайык тегиздикте топтолгон деформациялардын ички күчтөрү менен тиешелүү деформацияларынын типтүү k - чи топтолгон деформациялар методунун элементеринин ортосундагы байланыштары үчүн матрица түрүндө жазууга болот

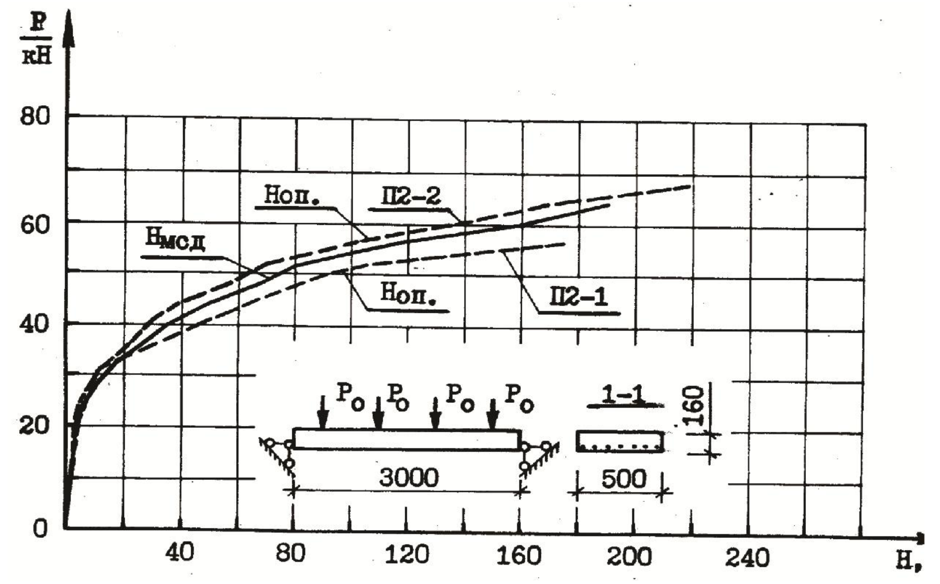
$$\{F\}_k = [Э]_k \cdot \{\lambda\}_k \qquad (4)$$

мында: $\{F\}_k$ - тегиздикте топтолгон деформациялардын k-чи элементинин алдындагы ички күчтөр багыты;

$[Э]_k$ - k - чи элементеринин алдындагы ийкемсиздик кесилиш матрицасы;

$\{\lambda\}_k$ - деформациялардын тиешелүү багыты.

Темир-бетон конструкциялары, распор күчүнүн аракети астында иштеп жаткан шартта темир-бетон конструкцияларынын учуру (3-сүрөт), татаал экендиги менен, ал кесилиш тегиздигинде топтолгон деформациялары компекстүү болуп саналат (бетон, арматура жана реалдуу байланыштарды камтыйт).



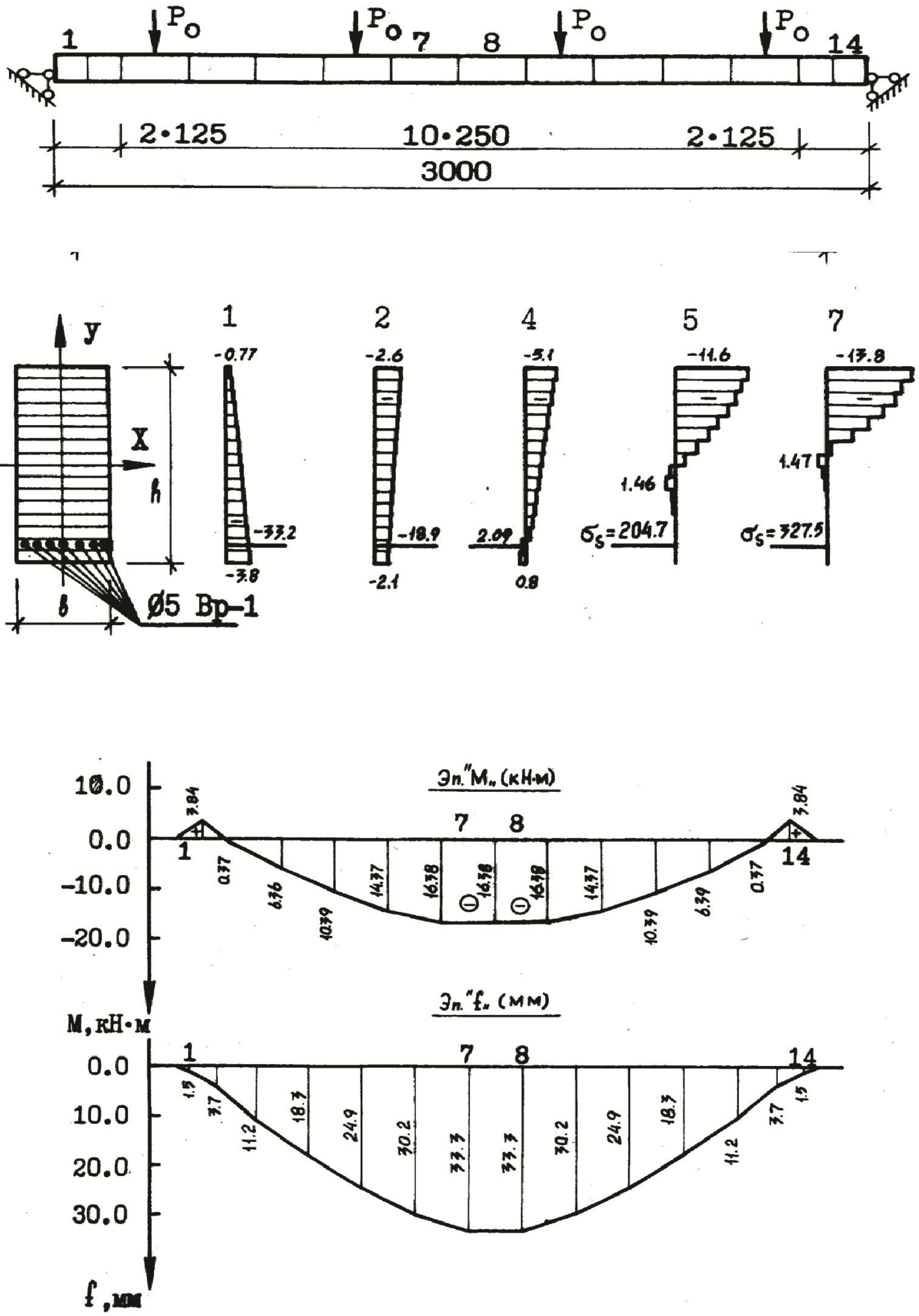
4-сүрөт. Темир-бетон конструкцияларындагы нормалдуу күчтөрүнүн өзгөрүүсү

Атайын иштелип чыккан «DIRAR» программасы аркылуу көп этаждуу имараттар жана ири имараттардын ишинин өзгөчөлүгүн эске алуу менен, темир-бетон конструкцияларынын бекемдигин жана кыймылын аныктоосу, топтолгон деформациялар методунун негизинде эсептелген. Бул графиктерде, темир-бетон конструкцияларынын орто аралыгындагы ийилүүсү, эсептөөнүн жана тажрыйбалык маалыматтардын негизинде жакшынакай дал келүүсүн (4- жана 5-сүрөттөрдө) көрсөтүп турат.

Бул дал келүү 5,0 ··· 23,6% ды түзөт.

Топтолгон деформациялар методу аркылуу алынган ийилүүсү, эксперимент жана ийкемдүүлүк теориясынын эсептөө жыйынтыктары менен салыштырылган. Точкаланган $P_o = 2{,}0$ кН жүк берүү учурунда, темир-бетон конструкцияларынын распор күчүн эске алуусу ишинин серпилгичтик этабына туура келет, алынган ийилүү топтолгон деформациялар методу менен $f_{мсд} = 0{,}271$ мм түзсө, ал эми серпилгичтик теориясы аркылуу – $f_{ст}$ = 0,294 мм түзөт.

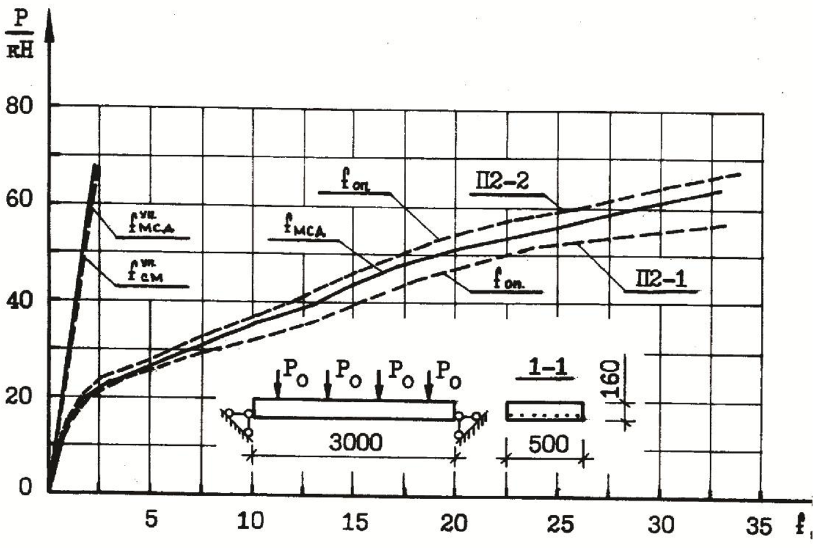
Жогоруда айтылгандай, алынган ийилүүнүн жакшы дал келүүсүн белгилей кетүү керек, бул айырма, 7,8% ды түзөт. Тышкы жүктөрдүн таасири аркылуу, бир деңгээлдеги тажрыйбадан алынган ийилүүсү $f_{таж.} = 0{,}28$мм барабар, бул топтолгон деформациялар методуна карата 3,3%, ал эми серпилгичтик теориясына карата $f_{ст}$ - 5,0% ды түзөт.



5-сүрөт. Темир-бетон конструкцияларынын чыңалуусунун, моментинин жана ийилүүсүнүн эпюралары (e=-h/4 и P_0=16,0 кН).

Топтолгон деформациялар методу аркылуу алынган ийилүүсү, тажрыйба маалыматтары менен жакшы дал келүүсүн 6-сүрөттөн көрүүгө болот.

Бул эмгекте дагы ийилүүчү темир-бетон конструкцияларын экинчи группадагы чектелген түрдөгү ийилүүгө жана ачылуу жаракалары үчүн практикалык түрдө көпкө кызмат иш жүктөмүн эсептөө сунуш кылынат.



6-сүрөт. Темир-бетон конструкцияларынын орто аралыктагы ийилүүсүнүн өзгөрүүсү.

Башкача айтканда, бетондун серпилгич өзгөргүчтүк деформация *ν* коэффиценттинин ченеми, бетондун чыңалуу этабы $\sigma_в/R_в$га жараша, бетондун классы жана жүк узактыгы аракетинин орточо «$\sigma_в$ - $\varepsilon_в$» диаграммасын эсепке алуу.

Бул учурда, бетондун серпилгич өзгөргүчтүк деформация *ν* коэффиценттинин, аналитикалык эсептөөсү төмөнкү формула менен аныкталышы мүмкүн

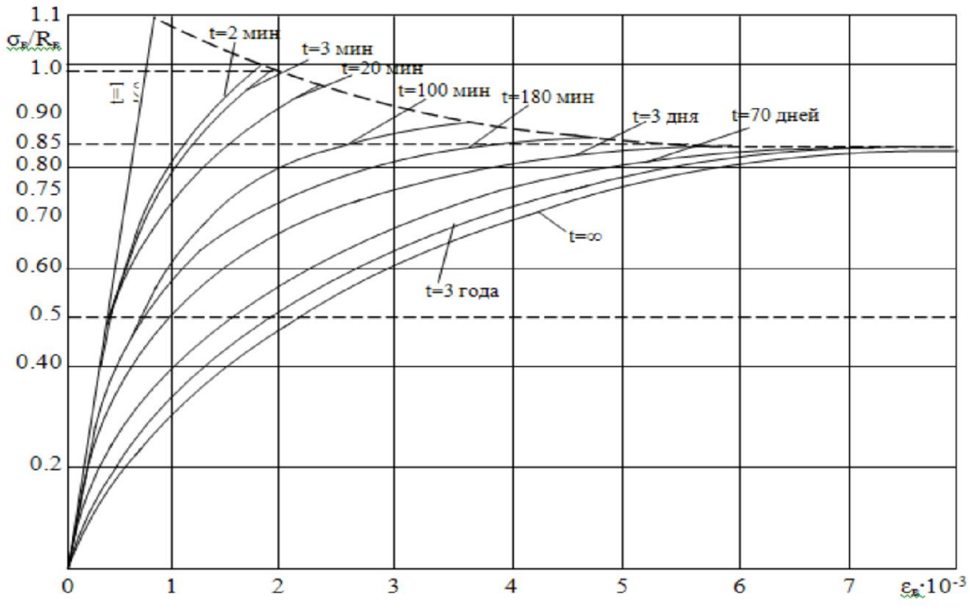
$$\nu = (\varepsilon_в)/\{\varepsilon_в+\varepsilon_{pc}\cdot[t\cdot(\sigma_в/R_в)]\} \qquad (5)$$

мында: $\varepsilon_в$ - бетондун серпилгичтик деформациялар ченеми;

ε_{pc} - бетондун өзгөргүчтүк деформациялар ченеми;

$\sigma_в/R_в$ - бетондун чыңалуу деңгээли; t - жүк аракетинин узактыгы.

Кыска аралыкта туруктуу жана узак иш-аракеттери үчүн ν коэффицентти (0,1...0,15) иштеп жаткан жагдайга жараша алынат, жана көз каранды болбогон жүктүн узак иш-аракеттеринин бир бөлүгү, чыңалуунун деңгээли $\sigma_в/R_в$, тажрыйбалык маалыматтарга дал келбеши мүмкүн.



7-сүрөт. «Чыңалуу - деформация» көз карандылык графиги.

7-сүрөттө көрсөтүлгөндөй тышкы жүктүн узак иш-аракетинин таасири боюнча, серпилгич өзгөргүчтүк деформация v коэффициенти 0,43 ... 0,1 чейин өзгөрүшү мүмкүн жана бул жүктүн узак иш-аракетине жана бетондун чыңалуу этабына жараша болот.

Бирок, СНиП 2.03.01-84* [13] долборлоо ченемдери туруктуу жана узак иш-аракетеринин жүк таасирине жараша v коэффициентин (0,1...0,15) барабар болгон мааниде кабыл алууга, анын жүк узак иш-аракетине жана бетондун чыңалуу деңгээлине карабастан сунушталат [14].

Негизги тыянактар

1. Көп кабаттуу имараттар жана ири имараттарынын темир-бетон конструкцияларын эсептөөсүнүн негизинде жүк көтөрүүчү системаларынын ички жана тышкы ийкемдүүлүк элемент матрицалары алынган, бул булакта матрицаларды көбөйтүүнү жок кылат. Ийкемдүүлүк матрицасы шарттуу каттам тартиби менен бир нече оңдоолордо, бул линиялык эмес эсептөөлөр кээде өтө пайдалуу болуп саналат.

2. Ар бир элементте жалпак кесилиштер гипотезасын кабыл алуу менен жана топтолгон деформациялар методунун материалдарынын ийкемдүүлүк мүнөздөрүн өзгөртүү мүмкүнчүлүгү аркылуу, бул элементтерди чектүү элементтер методуна караганда, бир канча эсе чоң кылып алууга болот.

3. Иштелип чыккан жана сунушталган ыкма жана эсептөө алгоритми, реалдуу өзгөргүчтүк диаграмма материалдарын колдонуу менен, сызыктуу эмес жана бир түрдүүлүк эмес демейдеги (нормалдуу) жана жаныма (касательный) чыңалуунун бийиктиги боюнча кесилиш элементинде өсүүсү, чектелген шартта тирөөчүгө бекитүү белгилөө шарттары, б.а. распордун болуш таасирин эсепке алуу.

4. Топтолгон деформациялар методунун эсептөө моделинин узак аралыктагы тышкы жүк аракетин мейкиндик ишиндеги көп кабаттуу имараттар жана ири имараттардагы темир-бетон конструкцияларына болгон тасирин эске алуу, жана ар кандай этаптагы тышкы жүктөрдүн таасиринен болгон алардын чыңалуу-деформациялар түрлөрүн аныктоо жана баа берүү.

Адабияттар:

1. Байков В.Н. Расчет изгибаемых элементов с учетом экспериментальных зависимостей между напряжениями и деформациями для бетона и высокопрочной арматуры//Изв. вузов. Сер. Строительство и архитектура. - 1981. - №5. - С. 26-31.
2. Додонов М.И. Расчет изгибаемых пластин методом сосредоточенных деформаций//Строительная механика и расчет сооружений. - 1986. - №2. - С. 22-25.
3. Зулпуев А.М. Программа «DIRAR» для расчета плит перекрытий на действие кратковременной нагрузки // Научный журнал «Вестник» ОшГУ. - Ош, 2005. - №2. - С. 99-101.
4. Зулпуев А.М. Расчет изгибаемых плитных элементов и систем из них с учетом нелинейной работы по методу сосредоточенных деформаций //Научно-технический и производственный журнал «Бетон и железобетон». - М., 2005. - №2. - С. 14-17.
5. Зулпуев А.М. Расчет сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру, в монолитных многоэтажных зданиях, по методу сосредоточенных деформаций // Научно-технический журнал «Известия» ОшТУ. - Ош, 2005. - №2. - С. 31-37.
6. Зулпуев А.М. Расчет плит перекрытий, армированных стальным профилированным настилом, по методу предельного равновесия // Научно-периодическое издание «Вестник» КГУСТА им. Н. Исанова. - Бишкек, 2010. - №1 (27). - С. 113-117.
7. Зулпуев А.М. Расчет по методу сосредоточенных деформаций железобетонных плоскостных конструкций и систем из них//Научно-периодическое издание «Вестник» КГУСТА им. Н. Исанова. - Бишкек, 2010. - №1 (27). - С. 117-123.
8. Зулпуев А.М. Расчет перемещений балочной изгибаемой плиты и построение аппроксимирующей зависимости «М-к» // Теоретический и прикладной научно-технический журнал «Известия» КГТУ им. И. Разакова. - Бишкек, 2010. - №21. - С. 92-94.
9. Зулпуев А.М. Матричные соотношения между усилиями и перемещениями для симметричных поперечных сечений упругого стержня // Республиканский научно-теоретический журнал «Известия вузов». - Бишкек, 2010. - №5. - С. 3-5.
10. Зулпуев А.М. Определение внутренних усилий граничных условий в методе сосредоточенных деформаций // Республиканский научно-теоретический журнал «Известия вузов». - Бишкек, 2010. - №5. - С. 10-13.
11. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. - М.: Стройиздат, 1976. - С. 204.
12. Ржаницын А.Р. Расчет сплошных конструкций методом упругих сосредоточенных деформаций // Строительная механика и расчет сооружений. - 1980. - №5. - С. 15-20.
13. Строительные нормы и правила 2.03.01-84*. Железобетонные конструкции. Нормы проектирования. - М., 1999. - С. 79.
14. Темикеев К., Зулпуев А.М. Экспериментально-теоретическое исследование предельных состояний сборных железобетонных перекрытий при вертикальном и горизонтальном воздействии // Научно-технический журнал «Известия» ОшТУ. - Ош, 2012. - №1. - С. 23-25.

Рецензент: д.т.н., профессор Тентиев Ж.