

Сәулет, қала құрылысы және құрылыс  
саласындағы мемлекеттік нормативтер  
**ҚР НОРМАТИВТІК-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ**

---

Государственные нормативы в области  
архитектуры, градостроительства и строительства  
**НОРМАТИВНО–ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ РК**

## **БОЛАТ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ ӨРТКЕ ТӨЗІМДІЛІГІНІҢ ЕСЕБІМЕН ЖОБАЛАУ**

---

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРА**

**ҚР НТҚ 03-01-2.1-2012**  
(ҚР ҚН EN 1993-1-2:2005/2011 әзірленген)  
**НТП РК 03-01-2.1-2012**  
(к СН РК EN 1993-1-2:2005/2011)

Ресми басылым  
Издание официальное

Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің  
Құрылыс, тұрғын үй–коммуналдық шаруашылық істері және жер  
ресурстарын басқару комитеті

Комитет по делам строительства, жилищно–коммунального  
хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства  
национальной экономики Республики Казахстан

Астана 2015

## АЛҒЫ СӨЗ

- 1. ӘЗІРЛЕГЕН:** «ҚазҚСҒЗИ» АҚ, «Астана Строй-Консалтинг» ЖШС
- 2. ҰСЫНҒАН:** Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Құрылыс, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын басқару комитеті
- 3. БЕКІТІЛІП, ҚОЛДАНЫСҚА ЕНГІЗІЛГЕН:** Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігі Құрылыс, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын басқару комитетінің 2014 жылғы 29-желтоқсандағы № 156-НҚ бұйрығымен 2015 жылғы 1-шілдеден бастап

## ПРЕДИСЛОВИЕ

- 1. РАЗРАБОТАН:** АО «КазНИИСА», ТОО «Астана Строй-Консалтинг»
- 2. ПРЕДСТАВЛЕН:** Комитетом по делам строительства, жилищно – коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан
- 3. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ:** Приказом Комитета по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан от «29» декабря 2014 года № 156-НҚ с 1 июля 2015 года

Осы мемлекеттік нормативті Қазақстан Республикасының сәулет, қала құрылысы және құрылыс істері жөніндегі уәкілетті мемлекеттік органның рұқсатысыз ресми басылым ретінде толық немесе ішінара қайта басуға, көбейтуге және таратуға болмайды

Настоящий государственный норматив не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения уполномоченного государственного органа по делам архитектуры, градостроительства и строительства Республики Казахстан

## МАЗМҰНЫ

<b>КІРІСПЕ</b> .....	<b>VI</b>
<b>1 ҚОЛДАНУ САЛАСЫ</b> .....	<b>1</b>
<b>2 НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР</b> .....	<b>3</b>
<b>3 ТЕРМИНДЕР, АНЫҚТАМАЛАР, БЕЛГІЛЕУЛЕР ЖӘНЕ ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР</b> .....	<b>4</b>
<b>4 НЕГІЗГІ ПРИНЦИПТЕР МЕН ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕРІ</b> .....	<b>10</b>
4.1 Конструктивті өртке қарсы құрылыс жобалауға кіріспе.....	10
4.2 Есептеу бойынша жалпы ережелер .....	12
4.3 1993-1-2 ҚР ҚН EN бойынша болат конструкцияларды жобалау .....	14
4.4 Сынақты ескере отырып жобалау.....	15
<b>5 ЕСЕСПТІК ӨРТТЕР</b> .....	<b>16</b>
5.1 Жалпы ережелер.....	16
5.2 Ортаның температурасын есептеп шығаруға арналған жалпы ережелері .....	17
5.3 Номиналды температуралық режимдер.....	17
5.3.1 Жалпы ережелер.....	17
5.3.2 Стандартты температуралық режим .....	17
5.3.3 Сыртқы өрттің температуралық режимі .....	18
5.3.4 Көмірсулардың жану режимі.....	18
5.4 Өрттің эквивалентті ұзақтығы .....	19
МЫСАЛ 1 Өрттің эквивалентті ұзақтығын есептеп шығару.....	20
5.5 Параметрлік температуралық режимдер .....	21
МЫСАЛ 2 Параметрлік есептеу шығару.....	23
5.6 Ортаның сыртқы температурасы .....	25
5.7 Өрттің жалпы моделдері.....	25
<b>6 ЭЛЕМЕНТТЕРДІҢ ТЕРМПАТУРАЛАРЫ</b> .....	<b>27</b>
6.1 Жалпы ережелер.....	27
6.2 Болат конструкцияның қима коэффициенттері .....	27
6.3 Қорғалмаған болат бұйымдар .....	27
6.4 Өртке қарсы қорғаныспен оңашаланған болат конструкциялар .....	29
<b>7 СТАТИКАЛЫҚ ЖҮКТЕМЕЛЕР</b> .....	<b>31</b>
7.1 Жалпы ережелер.....	31
7.2 Жүктемелердің сенімділік коэффициенттері .....	31
7.3 Жүктемелердің есептік мәндері.....	33
7.3.1 Жалпы ережелер .....	33
7.3.2 Жүктеме.....	33

7.3.3 Қалыпты температура кезіндегі есептік жүктемелер .....	33
7.3.4 Өрт кезіндегі шекті жағдайдың есептік жүктемелері .....	33
7.3.5 Әсер етудің есептік мәндері – салмақ көтере алу қабілеттілігі бойынша бірінші шектік жағдайға арналған құрылыстық өртке қарсы жобалауға байланысты жағдай .....	33
7.4 Жүктеме дәрежесін, оның интенсивтілігін және қолдану коэффициентін анықтау ....	34
7.4.1 Жүктеме дәрежесі (n).....	34
7.4.2 Қолдану коэффициенті ( $\mu_{fi}$ ) .....	34
<b>8 МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ЖЫЛУ ЖӘНЕ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ .....</b>	<b>36</b>
8.1 Жалпы ережелер.....	36
8.2 Болат .....	36
8.2.1 Жалпы ережелер .....	36
8.2.2 Ыстықтегістелген көміртекті болат .....	36
8.2.3 Тот баспайтын болат.....	43
8.2.4 Жұқа қабырғалы болат .....	48
8.3 Бұрандамалар мен пісірілген тігістер .....	50
<b>9 СОЗЫЛҒАН ЭЛЕМЕНТТЕРДІ ЕСЕПТЕУ .....</b>	<b>52</b>
9.1 Жалпы ережелер.....	52
9.2 Есептік салмақ көтере алу қабілеттілік әдісі.....	53
9.2.1 Жалпы ережелер.....	53
9.2.2 Температураның біркелкі емес таралуы.....	53
МЫСАЛ 3 Тегіс полкалы бұрыштың созылуындағы салмақ көтеру қабілеттігі .....	54
9.2.3 Температураның біркелкі таралуы .....	55
9.3 Критикалық температура әдісі.....	56
МЫСАЛ 4 Критикалық температураны есептептеу .....	57
<b>10 СЫҒЫЛҒАН ЭЛЕМЕНТТЕРДІ ЕСЕПТЕУ .....</b>	<b>58</b>
10.1 Жалпы ережелер.....	58
10.2 Өрт кезіндегі колоннаның есептік ұзындығы .....	58
10.3 Осьтік бағытта салмақ салынған болат колонналар .....	59
10.3.1 Жалпы ережелер.....	59
10.3.2 1, 2 немесе 3 класты көлденең қимасы бар біркелкі қыздырылатын колонна.....	60
МЫСАЛ 5 Болат колоннаның шекті температурасын есептептеу .....	61
10.3.3 4 класты көлденең кесіндісі бар біркелкі қыздырылатын колонна .....	62
10.3.4 Осьтік жүктеме және бұғу моменті әсерінің астындағы біркелкі қыздырылатын колонна.....	62
10.3.5 Біркелкі емес қыздырылатын болат колонналар .....	63

<b>11 БҮГІЛЕТІН ЭЛЕМЕНТТЕРДІ ЕСЕПТЕУ .....</b>	<b>64</b>
11.1 Жалпы ережелер .....	64
11.2 Болат арқалықтар .....	64
11.2.1 Жалпы ережелер .....	64
11.2.2 Бүгілетін момент бойынша салмақ көтеру қабілеттілігі .....	64
МЫСАЛ 6 Момент бойынша салмақ көтеру қабілеттілігін есептеу .....	65
МЫСАЛ 7 Критикалық температура әдісі .....	67
11.2.3 Жылжудағы салмақ көтеру қабілеттігі .....	67
МЫСАЛ 8 Жылжудағы салмақ көтеру қабілеттігін есептеу .....	68
11.2.4 Бүгілу-айналдыруда тұрақтылықты жоғалту .....	68
11.2.5 Деформацияны ескеру .....	69
11.3 Үш жағынан өрттің әсері астындағы және төртінші жағында бетон плитасы бар болат арқалық .....	70
<b>12 КОНСТРУКЦИЯНЫҢ БАСҚА ТҮРЛЕРІ .....</b>	<b>71</b>
12.1 Жалпы ережелер .....	71
12.2 Жабынның жұқа арқалықтары .....	71
12.3 Тіреу бұрыштары бар арқалықтар .....	71
12.4 Толтырылған колонналар .....	75
<b>13 ҚОСЫЛЫСТАР .....</b>	<b>76</b>
13.1 Жалпы ережелер .....	76
13.2 Болат және болаттемірбетон қосылыстар .....	76
МЫСАЛ 9 Арқалықты колоннамен жалғастыру .....	78
<b>14 ЖАЛПЫ СҰРАҚТАР .....</b>	<b>86</b>
14.1 Кіріспе .....	86
14.2 Сәйкес келетін есептеу әдісін таңдаудағы басшылық .....	86
<b>А ҚОСЫМШАСЫ (ақпараттық) Болуы мүмкін өрттің әсерін ескере отырып болат конструкцияларды жобалау кезінде қолданылатын қосымша терминдер, анықтамалар, белгілеулер мен қысқартылған сөздер .....</b>	<b>87</b>
<b>Б ҚОСЫМШАСЫ (ақпараттық) Отандық болат маркаларының аналогтары .....</b>	<b>95</b>

## КІРІСПЕ

Осы нормативті-техникалық құралды «Астана Құрылыс-Консалтинг» ЖШС-і «Қазақ құрылыс және сәулет ғылыми-зерттеу және жобалау институты» Акционерлік қоғамымен («ҚазҚСҒЗИ» АҚ) жасаған келісімшарт бойынша дайындаған.

Осы нормативтік-техникалық құрал «Болат конструкцияларды жобалау - 1-12 Бөлімі: Өрттің әсерін ескере отырып болат конструкцияларды жобалау» 1993-1-2 ҚР ҚН ЕН ережесін дамыту үшін құрастырылған, жалпы және арнаулы тағайындаулы болат конструкциялардың отқа төзімділігін анықтауға арналған.

Осы нормативтік-техникалық құрал Еурокод 3-ке ұқсас, Қазақстан Республикасының 1993 ҚР ҚН ЕН құрылыс нормаларына жасалған нормативтік-техникалық құралдар тобының бөлігі болып табылады.

1993 ҚР ҚН ЕН-ге жасалған нормативтік-техникалық құралдар тобы – бұл келесілер көрсетілген нормативтік-техникалық құжаттар тізімі: 1993 ҚР ҚН ЕН Жобалау принциптері мен Ережелеріне сәйкес болат конструкцияларды есептеу және құрастыруға арналған ұсыныстар; нормативтік сілтемелі ақпараттың түсіндірмесі; есептеудің сандық мысалдары; қосымша анықтамалық ақпарат.

1993 ҚР ҚН ЕН-ге жасалған нормативтік-техникалық құралдардағы ережелерде болат конструкциялардың салмақ көтеру қабілеттілігі, эксплуатациондық жарамдылығы, ұзаққұмырлығы және отқа төзімділігі бойынша ғана талаптарды қамтиды. Басқа талаптар 1993 ҚР ҚН ЕН-ге жасалған нормативтік-техникалық құралдарда көрсетілмеген.

1993 ҚР ҚН ЕН-ге жасалған нормативтік-техникалық құралдарды келесі нормативтік-техникалық құжаттармен бірге қолданған жөн:

- 1990 ҚР ҚН ЕН НТҚ;
- 1991 ҚР ҚН ЕН НТҚ;
- 1992 ҚР ҚН ЕН – 1999 ҚР ҚН ЕН НТҚ, болат конструкциялар немесе олардың элементтерін есептеуге байланысты бөлімдерін;
- EN, ETAG, ETA стандарттары және болат конструкцияларға қатысты құрылыс бұйымдарына сәйкес басқа стандарттар.

1993 ҚР ҚН ЕН-ге жасалған нормативтік-техникалық құралдарды дайындау кезінде негіз болған құжаттар 1993 ҚР ҚН ЕН-ң «Болат конструкцияларды жобалау» 20 бөлімі, сонымен қатар 1990 ҚР ҚН ЕН, 1991 ҚР ҚН ЕН және EN 1090 болып табылады.

1993 ҚР ҚН ЕН-ге жасалған нормативтік-техникалық құралдардың тобы келесі 19 құралдан тұрады:

- 1993-1 ҚР ҚН ЕН-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал (12 құрал);
- 1993-2 ҚР ҚН ЕН-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал (1 құрал);
- 1993-3 ҚР ҚН ЕН-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал (1 құрал);
- 1993-4 ҚР ҚН ЕН-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал (3 құрал);
- 1993-5 ҚР ҚН ЕН-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал (1 құрал);
- 1993-6 ҚР ҚН ЕН-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал (1 құрал).

1993-1 ҚР ҚН ЕН-ге жасалған нормативтік-техникалық құралдар топшасы 12 құралдан тұрады:

- 1993-1-1 ҚР ҚН ЕН-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал;

- 1993-1-2 ҚР ҚН EN-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал;
- 1993-1-3 ҚР ҚН EN-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал;
- 1993-1-4 ҚР ҚН EN-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал;
- 1993-1-5 ҚР ҚН EN-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал;
- 1993-1-6 ҚР ҚН EN-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал;
- 1993-1-7 ҚР ҚН EN-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал;
- 1993-1-8 ҚР ҚН EN-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал;
- 1993-1-9 ҚР ҚН EN-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал;
- 1993-1-10 ҚР ҚН EN-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал;
- 1993-1-11 ҚР ҚН EN-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал;
- 1993-1-12 ҚР ҚН EN-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал.

1993-1 ҚР ҚН EN-ге жасалған нормативтік-техникалық құралда арнайы болат ғимараттар мен құрылыстарға қатысы бар 1993 ҚР ҚН EN бөлімдеріне таралған болат конструкцияларды жобалау бойынша нұсқаулар келтірілген:

- 1993-2 ҚР ҚН EN;
- 1993-3 ҚР ҚН EN;
- 1993-4 ҚР ҚН EN;
- 1993-5 ҚР ҚН EN;
- 1993-6 ҚР ҚН EN.

Осы СН РК EN 1993-1-2 ҚР ҚН EN-ге жасалған нормативтік-техникалық құралда келесілер келтірілген:

- 1993-1-2 ҚР ҚН EN-де бар, өрт әсерін ескере отырып болат конструкцияларды жобалаудың Принциптері мен Ережелері;
- 1993-1-2 ҚР ҚН EN-де келтірілген жобалаудың Принциптері мен Ережелерін дамытатын жағдайлар;
- 1993-1-2 ҚР ҚН EN –де келтірілген жобалаудың Принциптері мен Ережелерін толықтыратын ұсыныстар;
- жобалау практикасында 1993-1-2 ҚР ҚН EN –нің ережелерін қолданудың мысалын келтірген есептеудің сандық мысалдары.

Осы нормативтік-техникалық құралды жасау кезінде 1993-1-12 ҚР ҚН EN ережелерімен қатар келесілер ескерілген:

- 1993-1-2 ҚР ҚН EN –ге жасалған Ұлттық Қосымшалардағы ережелер;
- 1990 ҚР ҚН EN –нің сәйкес ережелері;
- 1991 ҚР ҚН EN –нің сәйкес ережелері.

Осы нормативтік-техникалық құрал 15 бөлімнен тұрады. Сол бөлімдерді 1993-1-2 ҚР ҚН EN-нің бөлімдері мен тармақтары бойынша түсіндірмелер берілген. Осы құралда 1993 ҚР ҚН EN тармақтарының нөмерлері жақшада көрсетілген:

- Бөлім 1: Қолдану аясы/саласы;
- Бөлім 2: Нормативті сілтемелер;
- Бөлім 3: Терминдер, анықтамалар, белгілеулер және қысқартылған сөздер;

## **ҚР НТҚ 03-01-2.1-2012**

- Бөлім 4: Жалпы ережелер;
- Бөлім 5: Есептеу әдістері;
- Бөлім 6: Есептік өрттер;
- Бөлім 7: Элементтер температуралары;
- Бөлім 8: Статистикалық жүктемелер;
- Бөлім 9: Материалдардың жылу және механикалық қасиеттері;
- Бөлім 10: Созылған элементтерді есептеу;
- Бөлім 11: Сығылған элементтерді есептеу;
- Бөлім 12: Бүгілетін элементтерді есептеу;
- Бөлім 13: Конструкцияның басқа түрлері;
- Бөлім 14: Қосылыстар;
- Бөлім 15: Жалпы талқыға салу.

Осы нормативтік-техникалық құрал жобалық ұйымдардың инженерлік-техникалық жұмысшыларына, жобалық өнімдерге тапсырыс берушілерге, жоғарғы оқу орындары оқытушылары мен студенттеріне арналған.



**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ НОРМАТИВТІК-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ**  
**НОРМАТИВНО - ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

---

**БОЛАТ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ ӨРТКЕ ТӨЗІМДІЛІГІНІҢ ЕСЕБІМЕН**  
**ЖОБАЛАУ**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ**  
**ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРА**

---

Енгізілген күні - 2015-07-01

**1 ҚОЛДАНУ САЛАСЫ**

1.1 Осы 1993-1-2 ҚР ҚН EN-ге жасалған нормативтік-техникалық құрал болуы мүмкін өрттің әсерін ескере отырып болат конструкцияларды жобалау кезіндегі талаптарды анықтайды және 1993-1-1 ҚР ҚН EN мен 1991-1-2 ҚР ҚН EN біріктіре отырып қолдануға тағайындалған. Осы құралда қалыпты температура кезінде эксплуатацияланатын конструкцияларды жобалауға қажет ерекше және қосымша талаптардан ғана тұрады.

1.2 Осы құрал 1993-1-2 ҚР ҚН EN-де келтірілген, болуы мүмкін өрттің әсерін ескере отырып болат конструкцияларды жобалаудың Принциптері мен Ережелеріннен тұрады және оларды дамытады.

1.3 Осы құралда өрттің әсері кезінде инженерлік жобалаудың әдісі тапсырыс беруші үшін қосымша құнды талап етпейтіндей, көтеріңкі және жоғарғы жауапкершілікті конструкциялар мен құрылыстарға өрт әсер етеуі кезіндегі жобалық шешімдер келтірілген. Осы НТҚ-ң мақсаттарының бірі, қалыпты шарттардағы жобалаудың негізгі принциптері мен жорамалдарына таныс инженер-құрылысшылар мен инженер-жобалаушылар түсіне және қолдана алатындай етіп 1993-1-2 ҚР ҚН EN-ді сипаттау болып табылады.

ЕСКЕРТПЕ Құрылыстық ҚР ҚН EN болат, болаттемірбетон және темірбетонды әр қайсысын жеке жеке өз құжаттарында қарастырады. Бұл жағдайда, материалдар бойынша өртке қарсы нормаларды тармақ бойынша қарастыру бұл құжаттарды жобалаушылардың қолдануына жеткілікті емес. Құрылыс нормаларда көрсетілген ғимараттар мен құрылыстарды жобалаудың принциптерін қолданудан бұрын жүктеменің табиғатын түсіну қажет. Сол себептен осы НТҚ екі бөлек құжатқа арналған құрал ретінде тағайындалады, оның ішінде 1991 ҚР ҚН EN 1.2 Бөлімі, 1993 ҚР ҚН EN 1.2 Бөлімі және сілтемелері, 1990 ҚР ҚН EN.

1.4 Осы құралды қолдану кезінде 1990 ҚР ҚН EN мен 1991 ҚР ҚН EN жалпы талаптарын ескеру қажет. Осыдан сырт, осы құралдың барлық ережелері болат конструкцияларды дайындау және құрастыру 1090 EN-ге сәйкес жасалғанын шамалайды. 1990 ҚР ҚН EN-де келтірілген жалпы жорамалдарға қосымша ретінде осы НТҚ-да келесі жорамалдар қолданылады: есептеу кезінде ескерілетін пассивті өртке қарсы қорғаныстың қайсы бір жүйесіне эксплуатация үрдісінде сәйкес түрде қызмет көрсетілуі тиіс.

***Ресми басылым***

---

## 2 НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Осы құралдарды қолдану үшін келесі сілтемелік нормативтік құжаттар қажет:

а) Қазақстан Республикасының құрылыс нормалары (негізгі сілтемелер):

- 1990 ҚР ҚН EN;
- 1991 ҚР ҚН EN;
- 1992 ҚР ҚН EN;
- 1993 ҚР ҚН EN;
- 1994 ҚР ҚН EN.

б) болат, болат пішімдер, болат бұйымдар және пісірілген шығын материалдарына арналған стандарттар (екіншілік сілтемелер):

- 10025 EN «Конструкциялық болаттан жасалған бұйымдар»;
- 10155 EN «Конструкциялық атмосфератұрақты болаттар. Жеткізудің техникалық шарттары»;
- 10210 EN «Легирленбеген конструкциялық болаттан және ұсақтүйірлі конструкциялық болаттан жасалған металлконструкцияларына арналған, ыстық әдіспен жасалатын қуыс профилдер. Бөлім 1. Жеткізудің техникалық шарттары»;
- 10219 EN «Легирленбеген конструкциялық болаттан және ұсақтүйірлі конструкциялық болаттан жасалған металлконструкцияларына арналған, суық әдіспен жасалатын қуыс пісірілген профилдер. Бөлім 1. Жеткізудің техникалық шарттары»;
- 1363 EN «Отқа тұрақтылық. Жалпы шарттар»;
- 13501 EN «Өрт қауіпіне байланысты құрылыс конструкцияларының, материалдарының және бұйымдарының жіктелуі. Бөлім 2. Желдету жүйелерінде қолданылатынан басқа құрылыс конструкциялары мен бұйымдарының өртке төзімділігіне байланысты жіктелуі»;
- 13381 ENV «Құрылыс конструкцияларының өртке тұрақтылығына әсер ететін факторларды анықтайтын сынақ әдістері. Бөлім 1. Горизонталды қорғау мембраналары»;
- 13381 ENV «Құрылыс конструкцияларының өртке тұрақтылығына әсер ететін факторларды анықтайтын сынақ әдістері. Бөлім 2. Вертикалды қорғау мембраналары»;
- 13381 ENV «Құрылыс конструкцияларының өртке тұрақтылығына әсер ететін факторларды анықтайтын сынақ әдістері. Бөлім 4. Болат конструктивті элементтерді қорғау».

## 3 ТЕРМИНДЕР, АНЫҚТАМАЛАР, БЕЛГІЛЕУЛЕР ЖӘНЕ ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР

3.1 Осы құралдағы болуы мүмкін өрттің әсерін ескере отырып болат конструкцияларды жобалау кезіндегі терминдер мен анықтамалар келесілерге сәйкес қолданылады:

- 1990 ҚР ҚН EN-нің 1.5 тармағына;
- 1993-1-1 ҚР ҚН EN-нің 1.5 тармағына;
- 1993-1-2 ҚР ҚН EN-нің 1.5 тармағына;

- 1993-1-3 ҚР ҚН EN-нің 1.3 тармағына;
- 1993-1-4 ҚР ҚН EN-нің 1.5 тармағына;
- 1993-1-5 ҚР ҚН EN-нің 1.3 тармағына;
- 1993-1-6 ҚР ҚН EN-нің 1.3 тармағына;
- 1993-1-7 ҚР ҚН EN-нің 1.3 тармағына;
- 1993-1-8 ҚР ҚН EN-нің 1.4 тармағына;
- 1993-1-9 ҚР ҚН EN-нің 1.3 тармағына;
- 1993-1-10 ҚР ҚН EN-нің 1.3 тармағына;
- 1993-1-11 ҚР ҚН EN-нің 1.3 тармағына;
- 1993-2 ҚР ҚН EN-нің 1.5 тармағына;
- 1993-3-1 ҚР ҚН EN-нің 1.5 тармағына;
- 1993-3-2 ҚР ҚН EN-нің 1.5 тармағына;
- 1993-4-1 ҚР ҚН EN-нің 1.5 тармағына;
- 1993-4-2 ҚР ҚН EN-нің 1.5 тармағына;
- 1993-4-3 ҚР ҚН EN-нің 1.5 және 1.8 тармақтарына;
- 1993-5 ҚР ҚН EN-нің 1.5 және 1.8 тармақтарына;
- 1993-6 ҚР ҚН EN-нің 1.5 тармағына.

ЕСКЕРТПЕ Осы құралдың 3.1 Тармақтарында аталған терминдер мен анықтамаларға қоса осы құралдың Б Қосымшасына сәйкес терминдер мен анықтамалар қолданылады.

3.2 Ос нұсқаулықта өрттің мүмкін болатын әсерін есепке ала отырып болат құрылымдарды жобалаған кезде қажет белгілер мен қысқартулар қолданылады:

**а) латын әліпбиінің бас әріптері:**

- $A_i$  —  $\theta_i$  температурасымен көлденең бойлықтың элементарлы ауданы;
- $A_m$  — ұзындық бірлігіне құрылымның беткі ауданы;
- $A_m/V$  — қорғалмаған болат құрылымдар үшін қиманың коэффициенті;
- $C_i$  — құрылым бетінің  $i$ -қорғаныс коэффициенті;
- $A_p$  — құрылымның ұзындығы бірлігіне отқа төзімді материалдың тиісті ауданы ( $m^2$ );
- $E_a$  — қалыпты температура кезіндегі болат серпімділігінің модулі;
- $E_{a,\theta}$  —  $\theta_a$  көтеріңкі температура кезінде болаттың серпімділігі деформациясы саласындағы желілік учаскенің иілгіштігі тангенс бұрышы;
- $E_{fi,d}$  — температуралы кенею және деформацияның әсерін есепке ала отырып ҚР ҚН EN 1991-1-2 сәйкес анықталатын өрт кезіндегі әсер ету нәтижесінің есептік мағынасы;
- $F_{b,Rd}$  — бұрандалардың иленімінің есептік қарсылығы;
- $F_{b,t,Rd}$  — өрт кезінде бұрандалар иленімінің есептік қарсылығы;
- $F_{v,Rd}$  — болт бұрандасының айналымы арқылы өтетін кесінді жазықтығынан өтуі кезінде анықталатын кесінді жазықтығына бұранданың жылжуының есептік қарсылығы;
- $F_{v,t,Rd}$  — өрт кезіндегі жылжу жазықтығына жүктелген бұрандалардың есептік қарсылығы;
- $F_{w,Rd}$  — ұзындық бірлігіне бұрыштық дәнекерлеу тігісінің есептік қарсылығы;

$F_{w,t,Rd}$  — өрт кезінде ұзындық бірлігіне бұрыштық дәнекерлеу тігісінің есептік қарсылығы;

$G_k$  — тұрақты әсер етудің нормативтік мағынасы;

$I_f$  — ашық өту жерлері сәулеленуінің жылу ағыны;

$I_z$  — жалыннан сәулеленудің жылу ағыны;

$I_{z,i}$  — колоннаның I-бетінің жалынына сәулеленудің жылу ағыны;

$L$  — тиісті қабаттағы колоннаның есептік ұзындығы;

$M_{b,fi,t,Rd}$  —  $t$  уақыты сәтінде бүйір шығуға есептік қарсылық;

$M_{fi,t,Rd}$  —  $t$  уақыты сәтінде иілу сәтіне есептік қарсылық;

$M_{fi,0,Rd}$  —  $\theta_a$  температурасына дейін тегіс жылытылған көлденең қиманың иілу сәтіндегі,  $\theta_a$  температурасына тең көлденең қима ауданына дейін тегіс таратылған тіректері бар жылусыз өзара әрекет ететін  $t$  уақытына тең сәттегі есептік қарсылық;

$M_{Rd}$  — пластикалық деформация жағдайында қалыпты температура кезінде  $M_{pl,Rd}$  брутто иілуші сәтіндегі көлденең қиманың қарсылығы; серпімді деформация жағдайындағы қалыпты температура кезінде  $M_{pl,Rd}$  брутто иілуші сәтіндегі көлденең қиманың қарсылығы;

$N_{b,fi,t,Rd}$  —  $t$  уақыты сәтінде бүйір шығуға сығылған құрылымның есептік қарсылығы;

$N_{Rd}$  — ҚР ҚН EN 1993-1-1 сәйкес қалыпты температура кезінде бойлықты күштің әсеріне  $N_{pl,Rd}$  көлденең қимасының есептік қарсылығы;

$N_{fi,0,Rd}$  —  $\theta_a$  тегіс таратылған температурасы кезінде құрылымның созылуына есептік қарсылығы;

$N_{fi,t,Rd}$  — көлденең қиманың температурасы тегіс таратылған кезде  $t$  уақыты сәтінде құрылымның созылуға есептік қарсылығы;

$Q_{k,1}$  — басым ауыспалы әсер ету;

$R_{fi,d,t}$  — өрт кезінде қарсылықтың есептік тиісті мағынасы;

$R_{fi,d,0}$  —  $t = 0$  уақыт кезіндегі  $R_{fi,d,t}$  мағынасы;

$T_f$  — өрт температурасы (K);

$T_0$  — ашық жердегі жалынның температурасы (K);

$T_x$  — өрт фронтының температурасы (813 K);

$T_z$  — жалынның температурасы (K);

$T_{z,1}$  — В EN 1991-1-2 қосымшасы бойынша бағанның жоғарғы шетінің деңгейіндегі температурасы (K);

$T_{z,2}$  — В EN 1991-1-2 қосымшасы бойынша бағанның жоғарғы шетінің деңгейіндегі температурасы (K);

$V$  — құрылым ұзындығы бірлігінің көлемі;

$V_{fi,t,Rd}$  —  $t$  уақыт сәтінде жылжуға есептік қарсылық;

$V_{Rd}$  — ҚР ҚН EN 1993-1-1 сәйкес қалыпты температура кезінде брутто көлденең қимасының жылжуға қарсылығы;

$X_k$  — ҚР ҚН EN 1993-1-1 бойынша қалыпты температура кезінде беріктік немесе деформациялық сипаттамалардың нормативтік мағынасы (әдетте  $f_k$  немесе  $E_k$ ).

#### **б) латын әліпбиінің кіші әріптері:**

$a_z$  — жалынның жұту қабілеті;

$c$  — өзіндік жылу сыйымдылығы;

$c_a$  — болаттың өзіндік жылу сыйымдылығы;  
 $c_p$  — уақытқа тәуелді отқа төзімді материалдың өзіндік жылу сыйымдылығы;  
 $d_i$  — құрылымның беткі і-бағытындағы көлденең қима мөлшері;  
 $d_p$  — отқа төзімді материалдың қалыңдығы;  
 $d_f$  — отқа төзімді материалдың қалыңдығы ( $d_f = 0$  қорғалмаған құрылым үшін);  
 $f_{p,\theta}$  —  $\theta_a$  көтеріңкі температурасы кезіндегі серпімділік шегі;  
 $f_y$  — 20 °C кезіндегі аққыштық шегі;  
 $f_{y,\theta}$  —  $\theta_a$  көтеріңкі температурасы кезіндегі болаттың есептік аққыштық шегі;  
 $f_{y,i}$  —  $A_i$  элементарлы алаң үшін атаулы аққыштық шегі  $f_y$ , пластикалық деформациялар кезінде бейтарап желіге қатысты оң және созылған бөлікте теріс қабылданады.

$f_{u,\theta}$  — көтеріңкі температурасы кезіндегі деформацияланған берік құрылымның аққыштық шегі;

$h_{\text{net},d}$  — аудан бірлігіне жылу ағынын нәтижелейтін есептік мағына;

$h_z$  — бағанның төменгі шеті деңгейіндегі жоғарғы жалынның асыра шамасы;

$i$  — (1), (2), (3) немесе (4) баған бетінің реттік нөмірінің көрсеткіші;

$k_{b,\theta}$  — бұrandаның тиісті температурасы бойынша анықталатын төмендеу коэффициенті;

$k_{E,\theta}$  —  $t$  уақыты сәтінде болаттың  $\theta_a$  температурасына жетуі кезіндегі серпімді деформацияның еңіс тік желілі учаскесі үшін төмендеу коэффициентін 3-тараудан қараңыз;

$k_{E,\theta,\text{com}}$  —  $t$  уақыты сәтінде қол жеткізілетін  $\theta_{a,\text{com}}$  сығылған бөліктегі болаттың ең жоғары температурасы кезінде серпімді деформацияның тік желілік учаскесі саласындағы еңістік бұрышының төмендеу коэффициенті;

$k_{sh}$  — көлеңкелі әсердің әрекетін есептеу үшін түзету коэффициенті;

$k_\theta$  —  $\theta_a$  көтеріңкі температурасы кезіндегі болаттың беріктік немесе деформацияланған сипаттамалардың салыстырмалы мағынасы;

$k_\theta$  — материал температурасына тәуелді беріктік немесе деформацияланған сипаттамалардың төмендеу коэффициентін 3-тараудан қараңыз;

$k_w$  — дәнекерлеу жігінің беріктікті төмендету коэффициенті;

$k_{y,\theta}$  —  $t$  температурасы уақыты сәтінде қол жеткізілетін  $\theta_a$  болаттың температурасы кезінде аққыштық шегінің төмендеу коэффициентін 3-тараудан қараңыз;

$k_{y,\theta,\text{com}}$  —  $t$  уақыты сәтінде қол жеткізілетін  $\theta_{a,\text{com}}$  сығылған бөліктегі болаттың ең жоғары температурасы кезінде серпімді деформацияның тік желілік учаскесі саласындағы еңістік бұрышының төмендеу коэффициентін 3-тараудан қараңыз;

$k_{y,\theta,i}$  —  $\theta_i$  температурасы кезінде болаттың аққыштық шегінің төмендеу коэффициенті;

$k_{y,\theta,\text{max}}$  —  $t$  уақыты сәтінде қол жеткізілетін  $\theta_{a,\text{com}}$  ең жоғары температурасы кезінде болаттың аққыштық шегінің төмендеу коэффициенті;

$k_{y,\theta,\text{web}}$  — коэффициент снижения предела текучести стали при температуре стали  $\theta_{\text{web}}$  болаттың температурасы кезінде болаттың аққыштық шегінің төмендеу коэффициенті;

$k_y$  — өзара іс-қимыл коэффициенті;

$k_z$  — өзара іс-қимыл коэффициенті;

$k_{LT}$  — өзара іс-қимыл коэффициенті;

$m$  —  $m$  жағындағы ашық өтпелердің саны;

$n$  —  $n$  жағындағы ашық өтпелердің саны;

$l$  — 20 °С кезіндегі ұзындық; жалын осі бойында анықталатын ашық орынның қашықтығы;

$l_{fi}$  — есептік өрт кезінде колоннаның бүйір шығысы аймағының ұзындығы;

$s$  — колоннаның геометриялық өсінен өртті бөлу бөлігі қабырғасына дейінгі тігінен қашықтық (секциялар);

$t$  — өртті әсер ету уақыты;

$w_i$  — ашық орынның ені;

$z_i$  — пластикалық деформациялар кезінде  $A_i$  элементарлы ауданындағы қиманың бейтарап өсінен ауырлық орталығына дейінгі қашықтық.

**в) грек әліпбиінің бас әріптері:**

$\Delta t$  — уақыт аралығы;

$\Delta l$  — температуралық ұзарту;

$\Delta \theta_{g,t}$  —  $\Delta t$  уақыт аралығында газ ортасы температурасының артуы;

$\phi_{f,i}$  — ашық орынға қатысты құрылымның  $i$ -бетінің сәулеленуінің бұрыштық коэффициенті;

$\phi_f$  — ашық орыннан сәулеленумен жылу алмастыру үшін құрылымның сәулеленуінің нәтижелеуші бұрыштық коэффициенті;

$\phi_z$  — жалыннан сәулеленумен жылу алмастыру үшін құрылымның сәулеленуінің нәтижелеуші бұрыштық коэффициенті

$\phi_{z,i}$  — жалыннан сәулеленумен жылу алмастыруды есептеу үшін құрылым бетінің  $i$  сәулеленуінің бұрыштық коэффициенті;

$\phi_{z,m}$  —  $m$  жағына жалыннан сәулеленумен жылу алмастыруды есептеу үшін колоннаның бұрыштық сәулеленуінің нәтижелеуші коэффициенті;

$\phi_{z,n}$  —  $n$  жағына жалыннан сәулеленумен жылу алмастыруды есептеу үшін колоннаның бұрыштық сәулеленуінің нәтижелеуші коэффициенті.

**г) грек әліпбиінің кіші әріптері:**

$\alpha$  — конвективті жылумен алмастыру коэффициенті;

$\beta_M$  — сәттерді тұрақты мағынаға келтіру коэффициенттері;

$\gamma_G$  — тұрақты әсер ету үшін қауіпсіздіктің жеке коэффициенті;

$\gamma_{M2}$  — қалыпты температуре кезінде қауіпсіздіктің жеке коэффициенті;

$\gamma_{M,fi}$  — материалдың сипаттамасына тәуелді қауіпсіздіктің жеке коэффициенті;

$\gamma_{Q,1}$  — бір реттік ауыспалы әсер ету үшін қауіпсіздіктің жеке коэффициенті;

$\varepsilon_f$  — жалынның қара дағының дәрежесі; ашық жердің қара дағының дәрежесі;

$\varepsilon_z$  — жалынның қара дағының дәрежесі;

$\varepsilon_{z,m}$  —  $m$  жағынан жалынның қара дағының жалпы дәрежесі;

$\varepsilon_{z,n}$  —  $n$  жағынан жалынның қара дағының жалпы дәрежесі;

$\xi$  —  $G$  қолайсыз тұрақты әсерді есепке алу үшін төмендетуші коэффициент;

$\eta_{f,i}$  — өрт кезінде батырудың есептік деңгейінің коэффициенті;

$\theta$  — температура;

- $\theta_a$  — болаттың температурасы ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $\theta_{a,cr}$  — болаттың сын температурасы ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $\theta_{g,t}$  —  $t$  уақыты сәтіндегі газ ортасының температурасы;  
 $\theta_{web}$  — құрылым қимасының орташа температурасы;  
 $\theta_i$  — элементарлы ауданның температурасы  $A_i$ ;  
 $k$  — түзетілетін коэффициент;  
 $k_1$  — температураның көлденең қима ені бойынша тегіс тарамауы үшін түзету коэффициенті;  
 $k_2$  — баған ұзындығы бойынша температураның көлденең қима ені бойынша тегіс тарамауы үшін түзету коэффициенті;  
 $\lambda$  — жылу өткізгіштік коэффициенті;  
 $\lambda_i$  —  $i$  ашық жерден өтетін жалынның қалыңдығы;  
 $\lambda_p$  — отқа төзімді материалдың жылу өткізгіштік коэффициенті;  
 $\mu_0$  —  $t = 0$  уақыты сәтінде көтерушілік қабілетті пайдалану коэффициенті;  
 $\sigma$  — тұрақты Стефана-Больцман ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$ );  
 $\rho_a$  — болаттың тығыздығы;  
 $\rho_p$  — отқа төзімді материалдың тығыздығы;  
 $\chi_{fi}$  — есептік өрт үшін иілу кезінде тұрақтылықты жоғалтқан жағдайда төмендетуші коэффициент;  
 $\chi_{LT,fi}$  — есептік өрт үшін ширығу кезінде тұрақтылықты жоғалтқан жағдайда төмендетуші коэффициент;  
 $\chi_{min,fi}$  —  $\chi_{y,fi}$  және  $\chi_{z,fi}$  ең төменгі мағыналары;  
 $\chi_{z,fi}$  — есептік өрт үшін  $z$  өсінің майысуы кезінде тұрақтылықты жоғалтудың төмендетуші коэффициенті;  
 $\chi_{y,fi}$  — есептік өрт үшін  $y$  өсінің майысуы кезінде тұрақтылықты жоғалтудың төмендетуші коэффициенті;  
 $\psi_{fi}$  — әсер етудің үйлесу коэффициенті  $\psi_{1,1}$  немесе  $\psi_{2,1}$  тең қабылданады.

1 ЕСКЕРТПЕ Осы нұсқаулықтың 3.2-тармағында тізімделген белгілер мен қысқартуларға қосымша, осы нұсқаулықтың А қосымшасына сәйкес белгілер мен қысқартулар қолданылады.

2 ЕСКЕРТПЕ Одан өзге, осы нұсқаулықта:

- 1.6 ҚР ҚНЕН 1990 тармағына;
- 1.6 ҚР ҚНЕН 1993-1-1 тармағына;
- 1.6 ҚР ҚНЕН 1993-1-2 тармағына;
- 1.4 ҚР ҚНЕН 1993-1-3 тармағына;
- 1.6 ҚР ҚНЕН 1993-1-4 тармағына;
- 1.4 ҚР ҚНЕН 1993-1-5 тармағына;
- 1.4 ҚР ҚНЕН 1993-1-6 тармағына;
- 1.4 ҚР ҚНЕН 1993-1-7 тармағына;
- 1.5 ҚР ҚНЕН 1993-1-8 тармағына;
- 1.4 ҚР ҚНЕН 1993-1-9 тармағына;
- 1.4 ҚР ҚНЕН 1993-1-10 тармағына;
- 1.4 ҚР ҚНЕН 1993-1-11 тармағына;

- 1.6 ҚР ҚНЕН 1993-2 тармағына;
- 1.6 ҚР ҚНЕН 1993-3-1 тармағына;
- 1.6 ҚР ҚНЕН 1993-3-2 тармағына;
- 1.6, 1.7 және 1.8 ҚР ҚНЕН 1993-4-1 тармақтарына;
- 1.6, 1.7 және 1.8 ҚР ҚНЕН 1993-4-2 тармақтарына;
- 1.6 және 1.7 ҚР ҚНЕН 1993-4-3 тармақтарына;
- 1.6 ҚР ҚНЕН 1993-5 тармағына,
- 1.6 ҚР ҚНЕН 1993-6 тармағына сәйкес сәйкес белгілер мен қысқартулар қолданылады.

## **4 НЕГІЗГІ ПРИНЦИПТЕР МЕН ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕРІ**

### **4.1 Конструктивті өртке қарсы құрылыс жобалауға кіріспе**

4.1.1 Барлық ғимарат анықталған функционалды талаптарға сай болуы тиіс, оның ішінде нұсқамаларда анықталғандай өрттің ішке таралу, өрттің сыртқа таралу кездеріндегі құтқарылу құралдары және Өрт қызметінің мүмкіндік құралдары. Құрылыс нормалары мен ережелері ғимараттың іші мен айналасындағы саулық пен қауіпсіздікті қамтамасыз етудің орынды стандарттарына кепілдік беруге тағайындалғандығын ерекшелеп айта кеткен жөн. Олар конструкцияның бүлінуін шектеуге есептелмеген, және өрт әсер еткен жағдайда ақшалай шығындарды ықшамдауға есептелмеген.

4.1.2 Қазіргізаман мақсаттары үшін құрылыс конструкциялары бойынша таралатын ішкі өртке байланысты ең маңызды талабы келесідей: өрт кезінде ғимараттың тұрақтылығы белгілі бір кезең бойы тұрақты болатындай етіп жобаланған және салынған болуы тиіс.

4.1.3 Болат элементтері үшін температураны жоғарлатқан сайын оның мықтылығы мен қаттылығының төмендеуі 400°C -бен 700°C аралығында елеулі болып табылады. Өрт шарты үшін болат конструкцияларын «жобалаудың» ең таралған әдісі, температуралық көтеру қабылеттілігінің көрсетілген пайызына кепілдік бере алуы үшін болат элементтерін өртке қарсы материалдармен қорғаған ғимараттарды жобалаумен байланысты.

4.1.4 Белгілі бір кезең бойы тұрақтылықты қамтамасыз ету туралы ғимаратқа арналған талаптар өртке тұрақтылықтың стандартты сынақтарында тірі қалуға қажет уақытпен байланысы бар. Өртке тұрақтылық талаптары өртке тұрақтылық уақытына тура байланысы бар, және көп жағдайларда өртке тұрақтылық сынақтарында тірі қалу мен өрт кезінде тірі қалу екеуінің арасында тура байланыс бар деп қате түсінік беріледі. Есептің дәстүрлі критерийлері – белгілі бір топқа жататын ғимаратты бағалауға негізделген нұсқауларда талап етілген уақыттан өртке тұрақтылық көп болуы тиіс. Өртке тұрақтылық тоқтап қалудың негізгі үш критерийне байланысты анықталған: изоляция, бүтіндік және салмақ көртеру қабылеттілігі. Бұл әдіс бойынша ғимараттардың көптеген бөлігі жобаланады. Нұсқаудың алдын ала жазу табиғаты ғимараттар үшін өртті есептеудің рационалды әдісінің дамуына кедергі жасады.

4.1.5 Жоғарыда айтылғандай, болат конструкциялары үшін анықталған өртке тұрақтылық кезеңдеріне жетудің дәстүрлі құралдары құрылыс конструкциялары



элементтеріне пассивті өрткеқарсы қорғанысты қолданудан тұрады. Бұл пассивті өрткеқарсы қорғаныс бетон немесе тас төсеніштер сияқты дәстүрлі құрылыс материалдары формасында жүзеге асырыла алады. 1970 жылдардың аяғына дейін бетон салмақ түсетін болат конструкция үшін өрткеқарсы қорғаныстың ең таралған формасы болған. Бірақ, бұл формағың жоғарғы құны және өрт кезінде оның жарылуы баламалы әдістердің дамуына әкелді. Изоляцияны көбінде себелеумен немесе изоляциялық тақта немесе олардың комбинациясы көмегімен өртке қарсы қорғаныспен қамтамасыз етілген. Күп болатын жабындар дәстүрлі әдістерге сай болуы мүмкін. Тозаңдататын жүйелерді қолдану, ілінбелі төбемен тығылған төбе кессондары сияқты болат бұйымдар көрінбейтін жерлерде көп таралған. Қазіргі заман болат кеңселерінде қорғаныстың таралған формасы – арқалықтарды тозаңдату және колонналарды өртке төзімді тақталармен қорғау.

4.1.6 Өрт кезіндегі болат конструкцияларды есептеу әдістемесіндегі елеулі өзгерістер 1990 жылы пайда болды. Бұл норма конструкциялық болат және құраушы элементтерді өртке тұрақтылықтың стандартты сынағы бойынша бағалауға негізделгендігімен, бұл архитекторларға есептеп шығару көмегімен өртке төзімділік үшін баламалы әдістерді жобалауға мүмкіндік береді. Болат элементтері үшін белгілі бір «тоқтап қалу температурасы» жоқ екендігі және конструктивті тоқтап қалуға тек температура ғана емесе, сонымен қатар жүктеме дәріжесі, сүйену шарттары және элемент арқылы және/немесе бойымен жылу градиентінің болуы немесе болмауы әсер ететіндігі мойындалған. Норма табиғи өрттерді қарастыруды ескерген, бірақ егжей – тегжейлі ақпаратты немесе басқаруды қамтамасыз етпейді. Өрт кезінде шекті жағдай үшін анықталған жүктеме коэффициенті мен беріктілік коэффициенті берілген. Олар - жүктеменің ықтималды бөлінуі мен материал қасиеті тудыратын белгісіздікпен анықталатын беріктік запастары.

4.1.7 Болат конструкциялар үшін жоғарыда аталған өртке төзімділікке жетудің ең таралған әдісі пассивті өрткеқарсы қорғанысты қолдану болып қала береді. Кесік коэффициентін қарастырудан алынған өрткеқарсы қорғаныс жуандығы ( $H_p/A$  немесе  $A_m/V$ ). Бұл – қыздырылған периметрдің көлденең қима ауданына қатынасы, бұл өрт кезінде болат профилдердің өзгермелі қызу көрсеткіштерін ескеруге арналған брутто.

4.1.8 Есептеп шығару әдістеріне шектеуші температуралық әдіс кіреді. Бұл қарапайым, бірақ тиімді үрдіс жүктеме қатынасы түсінігін қолданады, яғни өрт кезінде элемент көтерегін жүктеменің қалыпты температура кезіндегі салмақ көтеру қабілеттілігіне деген қатынасы, бұл шектік температураны алу үшін, және пассивті қорғанысқа деген қажеттілікті бағалау үшін қажет. Шектеуші температуралық әдіс қозғаушы күші жоғарғы дәрежедегі арқалықтарға қолданылмағандығын ескеру қажет. Аталған әдіс өрт кезінде шектік жағдай үшін төмендетілген жүктеме коэффициенттерін қолданады. Баламалы таңдау момент бойынша салмақ көтеру қабілеттілік әдісін қолданудан тұрады. Бұл әдісті жұқа кесінділер үшін қолдануға болмайды. Ол көп қолданылмайды, себебі арқалықтың температуралық профилін білуді талап етеді. Момент бойынша салмақ көтеру қабілеттілігі сәйкес қолданылатын мықтылықты төмендету коэффициентімен критикалық элементтің белгілі температурасына негізделген. Егер момент бойынша салмақ көтеру қабілеттілігі өрттің шектік жағдай кезінде салынғаннан артық болмаса арқылыққа қорғаныс салып қажет емес. Құрамдық плиталар критикалық

өлшемдер мен температуралық мәліметтер үшін қарапайым анықтамалық кестелердің көмегімен нормаға қосылған.

4.1.9 ҚР ҚН EN-нің ерекшелігі неде – жобалаушы сұрайтын барлық ақпараттар бір ғана құжата аясында ғана емес. Температуралық есеп үшін жылу әсері туралы ақпарат 1991-1-2 ҚР ҚН EN-нен алынған; салмақ көтеруші болат конструкцияның температурасын көтеру есептелетін әдіс (қорғалған немесе қорғалмаған) 1993-1-2 ҚР ҚН EN және 1994-1-2 ҚР ҚН EN-де бар; стандартты өртке тап болатын белгілі бір элементтердің температураның көрсеткіштері 1992-1-2 EN кестесінде жинақталған. Конструктивті салмақ көтеру қабілеттілігін анықтау үшін жобалау әдістемесі 1992 ҚР ҚН EN, 1993 ҚР ҚН EN, 1994 ҚР ҚН EN бөлімдерінде көрсетілген, бірақ бағалауға арналған әсерлер (немесе жүктемелер) 1991 ҚР ҚН EN-нің сәйкес бөлімдерінен алынған.

## **4.2 Есептеу бойынша жалпы ережелер**

4.2.1 Құрылыс нормаларға негізделген ҚР – ң құрылыс нормалары жобалаушыға келесідей мүмкіндіктер диапазонына жол ашады: отқа төзімділіктің стандартты кезеңдеріне негізделген алдын ала жоспарлаған ережелерден және кестеге жиналған мәліметтерді есептеп шығару үрдістеріне қолданудан бастап кәдімгі өртке негізделген ережелер мен бүлінбеген конструкцияның мінезіне дейін. Осы әдістердің әр қайсысы осы конструктивті формамен біріге қолдану дәрежесі материалдың өрт кезінде жұмыстауына байланысты білімді білу дәрежесіне және сәйкес бекітілген есептік әдістердің қол жетімдігіне тәуелді. Қалыпты талаптарға сай потенциалды жолдарға көрсететін өрт кезіндегі шектік жағдай үшін жобалаудың жалпы әдістемесі 4.1. Суретінде көрсетілген.

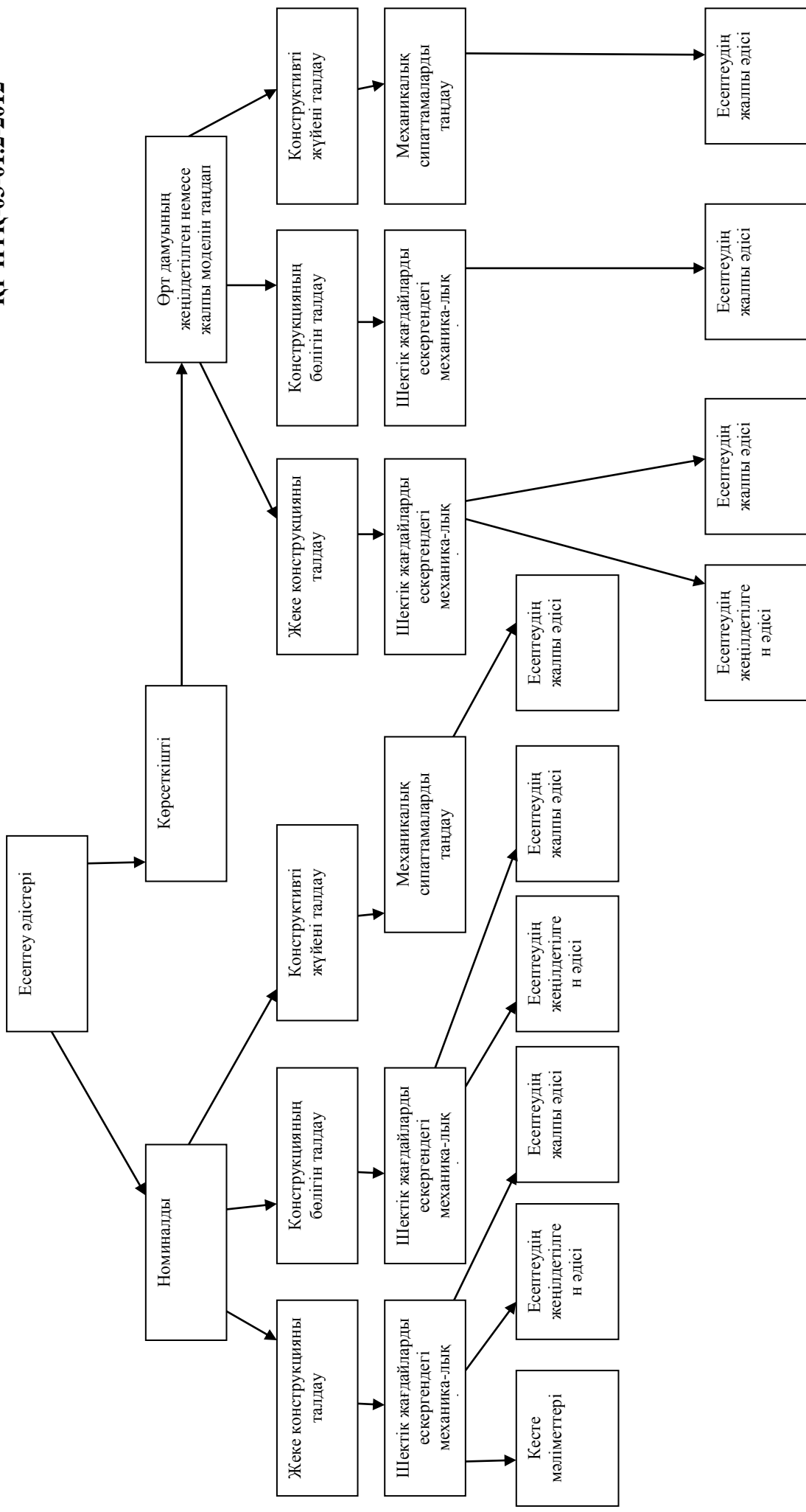
4.2.2 Қиындық көз қарасынан алғандағы иерархия – кестеге жинақталған мәліметтер, кейіннен қарапайым есептеп шығару әдістері, кейіннен жалпы есептеп шығару әдістері. Жобалау үшін жобалауға мәліметтерді бір кестеге жинақтау әдісі көптеген конструкциялар үшін ең тиімдісі болып табылады. Есептеп шығару әдістерін ерекше жағдайларда жұмыстауын көрсетуге қолдануға болады және белгілі бір жағдайларда елеулі пайда әкелуді қамтамасыз ете алады. Есептеп шығарудың жалпы әдістері (қалыпты жағдайда сызықтық емес соңғы-элементтік моделдер) өте күрделі конструкция болған жерде қолданылады. Осындай конструкциялардың мысалдары: спорт стадиондары, көрме залдары және аэропорт ғимараттары.

4.2.3 Инженерлік өртке қаржы жобалауды орындауға қажетті ақпарат дәстүрлі түрде бір нормативті құжат аясында орналасқан болған. EN ҚР құрылыс нормалары – жобалау нормаларының интегралданған жиынтығы және сондай ретінде қолдануға тағындалған.

4.2.4 Құрылыс материалдары бойынша (1993-1-2 ҚР ҚН EN) 1993 ҚР ҚН EN-нің өртке қарсы бөлімінде отқа төзімділікті келесілер арқылы анықтауға болады:

- есептеп шығарудың қарапайым моделдерімен;
- есептеп шығарудың жалпы моделдерімен;
- кестеге жинақталған мәліметтермен.

4.2.5 Нормативті талаптар ғимарат типіне (кеңсе, тұрғын үй, сауда және т.б.) және конструкцияның биіктігіне негізделген. Есептеуге қажетті әр түрлі стандарттар арасындағы қарым қатынасқа көрсететін ҚР ҚН EN-де жобалаудың әдістемесі келесідей:

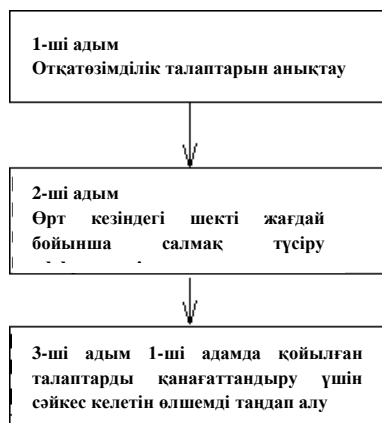


- өрттің сәйкес келетін есептік сценарийін таңдау (1991-1-2 ҚР ҚН EN);
- сәйкес келетін есептік өртті анықтау (1991-1-2 ҚР ҚН EN);
- конструктивті элементтердің температурасының көтерілуін есептеп шығару (1993-1-2 ҚР ҚН EN);
- механикалық режимді (жауапты) есептеу (1993-1-2 ҚР ҚН EN).

Әдіс сұлба түрінде 4.1 Суретінде көрсетілген.

4.2.6 Әдістердің арасындағы көптеген айырмашылықтар – ол, бағалау үшін қолданатын тұрақты және уақытша жүктемелер мен температуралы – уақыттық режим материалдар бойынша нормалардың құрамында жоқ, керісінше конструкцияға әсер ету бойынша сәйкес нормалардың құрамында бар.

4.2.7 ҚР ҚН EN-дегі есептеуіп шығарудың қарапайым әдістері жоғары температура кезінде материалдың қасиеттерінің төмендеуін бағалауға, сонымен қатар өрт кезінде шекті жағдайдағы сәйкес жектемені бағалауға негізделген. Бұл жағдайда салмақ көтеру қабілеттілігі өрт кезіндегі жүктеменің әсерімен салыстырғандағы және сәйкес келетін есептік жылу әсерінің төмендетуші коэффициенттері негізінде есептеліп шығарылады. Ереже бойынша есептеп шығарудың жалпы әдістері құрамына жалпы жобалаушылардың қолы жетпейтін күрделі соңғы – элементтік моделдерді қолдану кіреді.



**4.2 Сурет – Құрылыстық өртке қарсы жобалаудың жеңілдетілген үрдісі**

### **4.3 1993-1-2 ҚР ҚН EN бойынша болат конструкцияларды жобалау**

Болат конструкцияларды өртке қарсы жобалаудың әдістемесі ҚР ҚН EN-де жүргізілетін есепке сәйкес жіктелген. Есепті бір ғана элементке, конструкцияның бөлігіне немесе түгел конструкцияға жүргізуге болады. Жобалаушының қолы жетерлік нұсқалар 4.1 Кестесінде көрсетілген. Есептеп шығарудың қарапайым әдістері созылған элементтер, сығылған элементтер және бүгілуге жұмыстайтын элементтер үшін көрсетілген. Тексеруді салмақ көтеру қабілеттілікке байланысты немесе температураға байланысты жүргізуге болады.

#### 4.1 Кесте – 1993-1-2 ҚР ҚН EN бойынша отқа төзімділікті тексерудің баламалы әдістері

	Кестеге жинақталған мәліметтер: алдын ала ескеретін әдістер	Есептеп шығарудың жеңілдетілген әдістері	Есептеп шығарудың жалпы әдістері
Элементті есептеу. Элемент жеке қарастырылады. Температура айырмасынан басқа жағдайларда тура емес от әсерлері ескерілмейді	ЖОҚ	ИӨ - Стандартты өрт және параметрлік өрт - Қорғалған және қорғалмаған болат элементтері үшін температураның бөліну эпюрасын есептеп шығаруға болады	ИӨ Ұлттық қосымшаны қараңыз
Конструкцияның бөлігін есептеу. Конструкция аясындағы тура емес от әсері ескеріледі, бірақ құрылыстың басқа бөлігімен қатынасу уақытына тәуелділігі жоқ	ЖОҚ	ЖОҚ	ИӨ Ұлттық қосымшаны қараңыз
Барлық конструкцияны есептеу. Тура емес от әсері барлық конструкция бойынша қарастырылады	ЖОҚ	ЖОҚ	ИӨ Ұлттық қосымшаны қараңыз

#### 4.4 Сынақты ескере отырып жобалау

Барлық құрылыс материалдары үшін өрткеарсы жобалау, отқа төзімділік сынағының нәтижелерін ескермей жобалауға балама ретінде отқа төзімділік сынағының нәтижелеріне негізделі алады. Есептеу тәжірибелер мен есептеп шығарулар комбинациясына негізделі алады.

## 5 ЕСЕПТІК ӨРТТЕР

### 5.1 Жалпы ережелер

5.1.1 Құрылыс инженерлік өртке қарсы жобалаудың бірінші кезеңі – өртке қарсы есептің сәйкес сценарийін анықтау. Ереже бойынша, оның құрамына есептеу мақсаттары үшін ең ыңғайлы жағдайларды анықтауға ғимараттың әр түрлі секцияларында өрттің болуын қарастыру кіреді. Есептік сценарийді таңдап алу қарастырылатын есептік өртті таңдауды анықтайды. Құрылыс конструкцияларының келесі есебінде қолданылатын жылу әсерін анықтауға сынақтың стандартты әдістерінен алынған мәліметтерге негізделген алдын ала анықталған әдіс арқылы, немесе әр ғимарат үшін анықталған физикалық көрсеткіштерді қарастыру арқылы жетуге болады. Бұл әдіс есептеп шығару әдістерін ескреді және дәстүрлі құрылыс өртке қарсы жобалауға қарама қарсы болып келетін жаңа әдіс болып табылады. Жылу әсерін анықтауға қолданылатын төрт тиімді дәреже немесе моделдер бар. Күрделілігіне байланысты олар 5.1 Кестесінде сипатталған.

5.1.2 Осы күнге 3 және 4 дәрежелерді шешу ғылыми–зерттеу жұмыстары үшін немесе күрделі және инновациялық конструкциялар үшін шектеулі болған. Құрылыс нормаларды енгізу көптеген ғимараттарға нормаларда есептеп шығару әдістемесіне сәйкес жобалануына мүмкіндік береді. Реттеу органдары алдын ала анықтау әдісінен функционалды әдістемеге көше бастаған, бұл арқылы жобалаушыға нәтижесінде не болуы тиіс екендігі алдын ала жазылады, бірақ функционалды талаптарға сәйкес болуын алдын ала жазбайды. Осы таңдау еркіндігі жобалаушыға нұсқалар диапазонын ұсынады, оның ішінде есептеп шығару әдістерін қолдану да бар.

**5.1 Кесте – Жылу әсеріне арналған бағалау әдістері**

Бағалау дәрежесі	Жылу әсеріне арналған модел	Сипаттамасы
Дәреже 1	H1	Өрттің стандартты әсері – сынақ немесе кестеге жинаөталған мәліметтер
Дәреже 2	H2	Өрттің созылу ұзақтығына эквивалентті уақыт – секциядағы өрттің күрделілігін стандартты пештегі эквивалентті кезеңге байланыстырады
Дәреже 3	H3	Параметрлік әсер ету – бастапқы мәліметтер ретінде өрт секциясының физикалық сипаттамаларын қолданады
Дәреже 4	H4	Ілгерлетілген әдіс – зоналық немесе алаңдық моделдер қажет уақыт ұзақтығына арналған секцияның барлық реакциялары туралы көрініс береді

## 5.2 Ортаның температурасын есептеп шығаруға арналған жалпы ережелер

Келесі есепте қолданатын жылу әсері қарапайым есептеп шығару арқылы алған номиналды немесе жалпы әдістерге негізделген болуы мүмкін. Құрылыс өртке қарсы жобалаудың ерекше сценарийін таңдап алу тәуекелдік дәрежесін бағалауға негізделеді, ал ол болуы мүмкін өрт тудырушы көздерді және қандайда болсын қолы жетімді өртті табатын/төмендететін әдістерді ескереді. Есептік өрт бір ғана өрт секциясына бір рет қана қолданылуы тиіс.

## 5.3 Номиналды температуралық режимдер

### 5.3.1 Жалпы ережелер

Өрттің номиналды немесе стандартты қисықтары құрылыс материалдары мен элементтерін бағалаудың қарапайым құралын қамтамасыз етеді, осы жүктеме мен тірелу шартының әсерімен нақты анықталған жылу және механикалық жүктемені ескере отырып жалпы критерийлер жиынтығына қарсы. Ғимарттағы өрт туралы көріністер ойда ғана болғанымен өрттің стандартты қисықтары өрттің өсуі мен дамуына байланысты физикалық көрсеткіштердің бірінде ескермейді. 1991-1-2 ҚР ҚН EN – де берілген номиналды режимдер төменде сипатталған.

### 5.3.2 Стандартты температуралық режим

5.3.2.1 Өрттің стандартты қисығы құрылыс материалдарының салыстырмалы жұмысын анықтау үшін көптеген жылдар бойы сәтті түрде қолданылып келді. Температура – уақыт тәуелділігі төменде сипатталған және 1363 EN – де көрсетілген.

$$\Theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10} \cdot (8 \cdot t + 1) \quad (5.1)$$

мұндағы  $\Theta_g$ - өрт секциясындағы газдың температурасы (°C);  
t- уақыт (минута).

5.3.2.2 Осы номиналды қисықтың (және басқаларының да) бірден бір шешуші кемшілігі – төмендеу тармағы жоқ, яғни салқындау фазасы жоқ. Толықмасштабты тәжірибелер келесі нәтижелерді көрсетті: салқындау фазасы конструкцияның жұмысына байланысты өте маңызды көрсеткіш болуы мүмкін, ерекшелеп айтқанда жылу қозғалысы қатаң түрде шектеулі болған жерде. Бұл стандарттың тәуелділіктер – болат, темірбетон және болаттемірбетон конструкцияларына арналған нормаларда кестеге жинақталған мәліметтер үшін негіз болады. ҚР ҚН EN – нің қолы жетерлік есептеу әдістерінің көбісі стандартты режимге ұқсас есептік өртті таңдау бойынша шектеулі, себебі нақты өрттің әсеріне ұшырап жатқан жеке элементтер мен барлық конструкцияның жылу және конструктивті мінезі туралы толық ақпарат жоқ болуынан.

### 5.3.3 Сыртқы өрттің температуралық режимі

Сыртқы өрттің температуралық режимі басты конструкциядан сыртқы жағындағы фасадтың конструктивті элементтері үшін қолданылады. Сыртқы өрттің температуралық режимін келесі формула бойынша анықтайды:

$$\theta_g = 660 \cdot (1 - 0,687 \cdot e^{-0,32t} - 0,313 \cdot e^{-3,8t}) + 20 \quad (5.2)$$

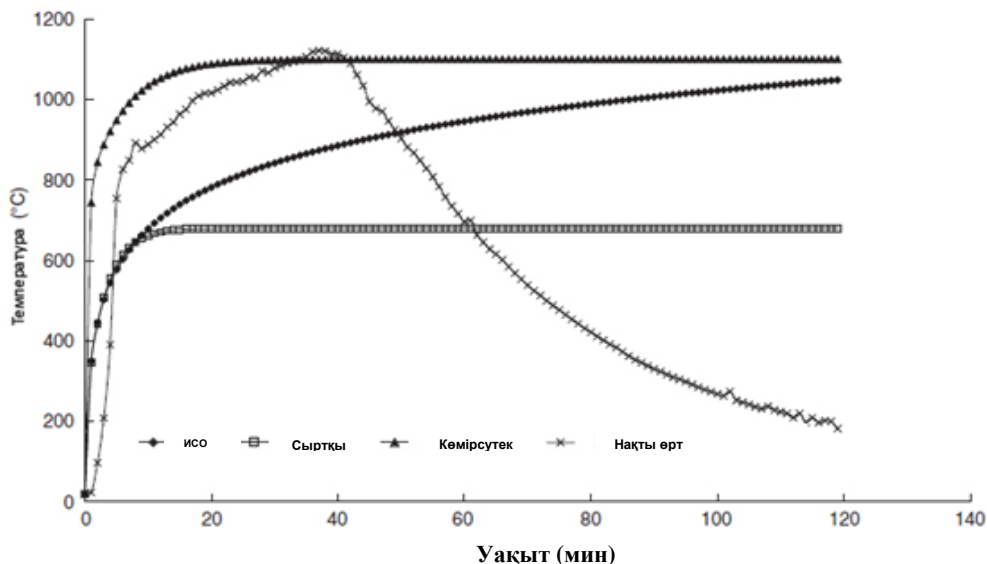
мұндағы  $\theta_g$  және  $t$  жоғарыда сипатталған.

### 5.3.4 Көмірсулардың жану режимі

5.3.4.1 Толық өрт жүктемесінің елеулі бөлігін мұнайхимиялық өнімдер немесе пластмассалар құраған жағдайларда температура өте тез көтеріледі, себебі осы материалдардың жылотудыру қасиеттері салыстырамы түрде жоғары болып келеді. Сондықтан, осындай жағдайлар үшін баламалы температуралық режимді келесі формула бойынша анықтауға болады:

$$\theta_g = 1080 \cdot (1 - 0,325 \cdot e^{-0,167t} - 0,675 \cdot e^{-2,5t}) + 20 \quad (5.3)$$

5.3.4.2 ҚР ҚН EN – де анықталған үш номиналды режим 5.1 Суретінде көрсетілген, мұнда сонымен қатар жалындау, өсу фазалары, бекітілген фаза және сөну фазаларынан құралатын өрттің типтік табиғи әсері көрсетілген. Туннелдердің ішкі қаптамасын бағалау сияқты белгілі бір жағдайларда қолданылатын өрттің көптеген номиналды режимдері бар.



**5.1 Сурет – Өрттің номиналды режимдері - отқа төзімділіктің нақты сынағымен салыстырғанда**



#### 5.4 Өрттің эквивалентті ұзақтығы

5.4.1 1991-1-2 ҚР ҚН EN – нің құрамында өрт секциясының физикалық сипаттамаларын бағалауға негізделген есепке арналған сәйкес келетін отқа төзімділікті анықтауға арналған әдіс бар. Бұл – номиналды режимдер мен нақты өрт секциясының мінезі арасындағы тиімді «ымыра». Бұл әдіс нақты секциядағы нақты өрттің қауіптілігі мен стандартты сынақ пешінде әсер етудің эквивалентті кезеңін байланыстырады. Сәйкес ішке кіретін мәліметтер – өрт жүктемесінің саны, секция өлшемі (жалпы ауданы және биіктігі), секцияны өңдеудің термодинамикалық көрсеткіштері және желдету шарттары. ҚР ҚН EN – дегі формула (жалпы ауданмен байланыстырылған, салыстырмалы өрт жүктемесіне негізделген):

$$t_{e,d} = (q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_t) \cdot k_c \quad (5.4)$$

мұндағы  $t_{e,d}$  - есепке арналған өрттің эквивалентті ұзақтығы (минута);

$q_{f,d}$  – есептік салыстырмалы өрт жүктемесі (МДж/м<sup>2</sup>);

$k_b$  – өңдеудің термодинамикалық көрсеткіштеріне тәуелді қайта есептеу коэффициенті;

$w_t$  - желдету коэффициенті;

$k_c$  - материалға тәуелді түзету коэффициенті. (Қорғалған болат және темірбетон үшін  $k_c = 1,0$ , термодинамикалық көрсеткіштерді егжей – тегжейлі бағалау жүргізілмеген жерде  $k_b = 0,09$ ).

5.4.2 Желдету коэффициенті келесі формула бойынша есептеледі:

$$w_f = (6/H)^{0,3} \cdot [0,62 + 90 \cdot (0,4 - \alpha_v)^4]$$

секцияда горизонталды ойықтар (жоғарғы шам терезелері) болмағанда;

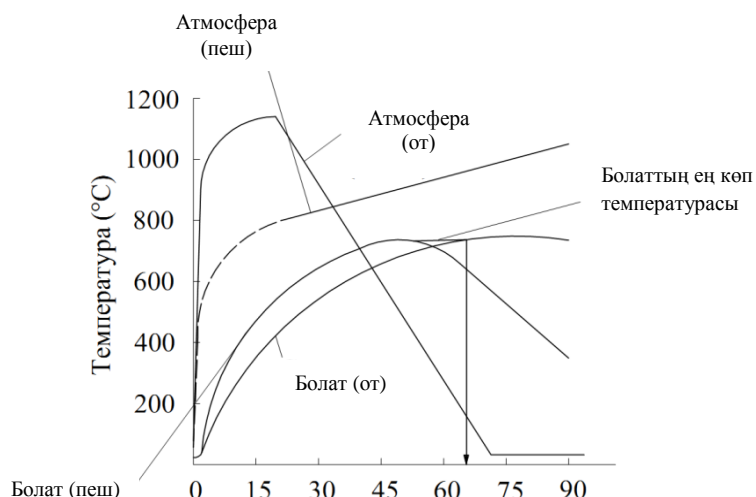
мұндағы  $H$  – өрт секциясының биіктігі (м);

$\alpha_v$  - келесі формуламен анықталатын көрсеткіш:

$$\alpha_v = A_v/A_f$$

мұндағы  $A_v$  және  $A_f$  – сәйкесінше желдетілетін аудан және жалпы аудан (м<sup>2</sup>).

5.4.3 Элементтік отқа төзімділігі уақытша эквивалентті мәннен артық болғанда тексеру аяқталды деп есептеледі. 5.2 Суретіндегі уақытша эквиваленттілік түсінігі пештегі стандартты сынақ кезіндегі ұқсас температураға жететіндей етіп алынған элементтің уақыты мен конструктивті элементтің максималды температурасы салыстырмалы түрде қарастырылған. Уақытша эквиваленттілік түсінігі жұмыс мысалымен көрсетілген.



**5.2 Сурет – Уақытша эквиваленттілік түсінігі  
(конструктивті болат элементіне байланыстырғанда)**

1 МЫСАЛ Өрттің эквивалентті ұзақтығын есептеп шығару

1) Бастапқы берілгендер

Шекаралары өрткенбейтін конструкциялы (секция қабаттары және қабырғалар) үлкен емесе кеңседегі қорғалған болат арқалық үшін отқа төзімділіктің сәйкес кезеңін есептеп шығару қажет.

Әкімшілік ғимарат аясындағы үлкен емесе өрт секциясы қарастырылады – төменде келтірілген 5.2 бастап 5.5 аралығындағы Кестелердегі есептік мәліметтерді қараңыз.

**5.2 Кесте – Геометрикалық мәліметтер**

Сипаттама	Мәліметтер
Жалпы аудан $A_f$ (м <sup>2</sup> )	36 · (6м × 6м)
Желдетілетін аудан $A_v$ (м <sup>2</sup> )	7.2 (3.6м жуандығы × 2м биіктігі)
Желдету ойықтарының биіктігі $h$ (м)	2
Секция биіктігі $H$ (м)	4

**5.3 Кесте –Материалдардың жылу мәліметтері**

Элемент	Материал	Жылу инерциясы ( $b$ мәні -Дж/м <sup>2</sup> · с <sup>1/2</sup> К)	Ауданы (м <sup>2</sup> )
Шатыр	Бетон	2280	36
Еден	Гипс картон	520	36
Қабырғалар	Гипс картон	520	76,8

**5.4 Кесте – Секцияны өндеудің термодинамикалық көрсеткіштерін ескеруге арналған  $k_b$  коэффициенті**

Термодинамикалық көрсеткіштер	Мәліметтер
$b = (\rho \cdot c \cdot \lambda)^{1/2} \text{ (Дж/м}^2 \cdot \text{с}^{1/2}\text{К)}$	$k_b \cdot (\text{мин} \cdot \text{м}^2/\text{М} \cdot \text{Дж})$
$b > 2500$	0,04
$720 \leq b \leq 2500$	0,055
$b < 720$	0,07

**5.5 Кесте – Нормативті салыстырмалы өрт жүктемесі**

Функционалды тағайындалу	Нормативті салыстырмалы өрт жүктемесі $q_{f,k} \cdot (\text{М} \cdot \text{Дж/м}^2)$ -80%-дық квантиль
Тұрғын үй	948
Аурухана	280
Қонақ үйлер	377
Кеңселер	511
Мектептер	347

2) Шешімі

Осы мысал үшін келесі сәйкес мәндерді пайдаланамыз:

- есептік салыстырмалы өрт жүктемесі  $q_{f,d} = q_{f,k} = 570 \text{ МДж/м}^2$ ;
- желдету коэффициенті  $w_f = 0,863 \cdot (a_v = 0,2)$ ;
- термодинамикалық көрсеткіштерді ескеру коэффициенті  $k_b = 0,07$  ( $b = 945 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с}^{1/2}\text{К}$ );

- құрылыс материалдар коэффициенті  $k_c = 1,0$  (қорғалған болат арқалық);

Онда (5.4) Формуласынан:

$$t_{e,d} = 570 \times 0,863 \times 0,07 = 34 \text{ минут}$$

Сондықтан өртке қарсы 60 минут қорғаныс жеткілікті.

**5.5 Параметрлік температуралық режимдер**

5.5.1 Уақытша эквивалентті әдіспен қатар параметрлік өрттер – секциядағы ішкі ортаға арналған температуралы – уақыттық қатынастарды анықтауға арналған есептеп шығарудың қарапайым мысалы. Осы әдіс 1991 ҚР ҚН EN – ң кезекті жобаларындағы (мақсаттарында) өрткеқарсы бөлімінде өзгертілген. Негізгі анықтама елеулі дәрежеде өзгеріссіз қалды. Қазіргі заман электрондық кестелерінде қолдануға идеалды түрде келетін секция газының температураларын тез және оңай аппроксимациялауды параметрлік әдіс қамтамасыз етеді. Әдісті экстенсивті түрде ұзақ уақыт бекітті. Көлемді

жалындау фазасынан кейін болатын фазаға ғана қолдануға болады, бұл фаза конструктивті мәселелерді қарастыру кезінде бірінші дәрежелі орын алады және секция аясында тегіс бөлінген температураны қабылдайды. 1991-1-2 ҚР ҚН ЕН – нің А Қосымшасындағы негізгі анықтама келесідей:

$$\Theta_g = 20 + 1325 \cdot (1 - 0,324 \cdot e^{-0,2t^*} - 0,204 \cdot e^{-1,7t^*} - 0,472 \cdot e^{-19t^*}) \quad (5.5)$$

мұндағы  $\Theta_g$ - өрт секциясындағы температура ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t^* = t \Gamma(\text{ч})$ ;

$t$  – уақыт (сағ);

$\Gamma = [O / b]^2 / (0.04 / 1160)^2$ ;

$b = \sqrt{(\rho \cdot c \cdot \lambda)}$  ( $\text{Дж}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{1/2}\text{K}$ );

$O$  – ойық коэффициенті ( $A_v \cdot \sqrt{h} / A_t$ ) ( $\text{м}^{1/2}$ );

$A_v$  – вертикалды ойықтар ауданы ( $\text{м}^2$ );

$h$  – вертикалды ойықтар биіктігі (м);

$A_t$  – қоршау конструкцияларының жалпы ауданы ( $\text{м}^2$ );

$\rho$  – қоршау конструкцияларының тығыздығы ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );

$c$  – қоршау конструкцияларының салыстырмалы жылусиымдылығы ( $\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{K}$ ); және

$\lambda$  – қоршау конструкцияларының жылу өткізгіштігі ( $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{K}$ ).

5.5.2 Болжағандай қайсы болсын секция аясындағы температура параметрлік түрде уақытқа тәуелді қарапайым көрсеткіштік функция ретін өзгереді, ал мұндағы уақыт желдету ауданы мен секцияны өңдеу қасиеттерінің өзгеруіне тәуелді. 0,04 және 1160 мәндері әдісті дамытуда қолданылатын ойық коэффициенті және секцияның термодинамикалық көрсеткішіне жатады. Сол баяғы мәндерді қолдана отырып параметрлік есептеп шығару өрттің стандартты режимне ұқсас температуралық – уақыттық сипаттамаға сәйкес.

5.5.3 Есептеп шығару процедурасы инженерге температураны уақытқа байланысты көтеру дәрежесін көрсетеді. Өрттің ұзақтығын бағалау үшін өрт жектемесі және ойық арасындағы арақатынасты қарастыру қажет. Қыздыру фазасындағы максималды температура келесі формуламен анықталатын  $t_{\max}$  уақыт ішінде болады:

$$t_{\max} = \text{көбі: } 0,2 \times 10^{-3} \cdot \frac{q_{t,d}}{O} \text{ и } t_{\lim} \quad (5.6)$$

мұндағы  $q_{t,d}$  – қоршау конструкциялары бетінің толық ауданымен байланысты салыстырмалы өрт жүктемесінің есептік мәні ( $q_{t,d}$  мәні 50-1000 МДж/м<sup>2</sup> диапазонында болуы тиіс); ;

$t_{\lim}$  – өрттің өсуінің баяу, орташа немесе тез қақынына негізделген өрт ұзақтығының минималды мәні. Кеңсе ғимараттары үшін өрттің өсуінің орташа қарқыны  $t_{\lim}$  мәніне сәйкес келе отырып орташа қарқыны алынуы тиіс, ол 20 минутқа тең.

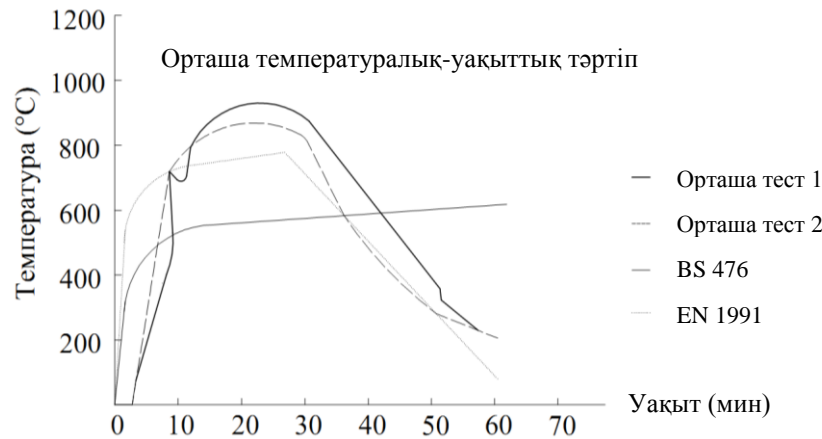
5.5.4 Өрт жүктемесінің көптеген практикалық комбинациялары үшін секция геометриясы мен ойық коэффициенті  $t_{\max}$  20 – минуттық шектен асатын болады. Сөну фазасындағы температуралық режимдерді келесі формулалар бойынша анықтайды:

$$\Theta_g = \Theta_{\max} - 625 \cdot (t^* - t_{\max}^*) \quad t_{\max}^* \leq 0.5 \text{ үшін} \quad (5.7a)$$

$$\Theta_g = \Theta_{\max} - 250 \cdot (3 - t_{\max}^*)(t^* - t_{\max}^*) \quad t_{\max}^* < 2 \text{ үшін} \quad (5.7b)$$

$$\Theta_g = \Theta_{\max} - 250 \cdot (t^* - t_{\max}^*) \quad t_{\max}^* \geq 2 \text{ үшін} \quad (5.7c)$$

2 мысалы типтік кеңсе секциясына арналған параметрлік есептеп шығаруды көрсетеді, ал 5.3 Суреті әдістің нақтылығын көрсететін сынағы бар есептік температуралық–уақыттық сипаттаманы көрсетеді. Оқырман жоғарыда айтылған уақыт эквиваленттігі байынша есептеп шығару әдістемесімен ортақ белгісі бар екендігін белгілейді.



**5.3 Сурет – Параметрлік есептеу мен сынақ нәтижелерін өзара салыстыру**

2 МЫСАЛ Параметрлік есептеп шығару

1) Бастапқы берілгендер

Әкімшілік ғимараттың аясындағы қарапайым өрт секциясында, оның жалпы ауданы 6 м × 6 м және бөлменің биіктігі 3,4 м. Фасадта бір ғана терезе ойығы бар, оның ені 3,6 м және биіктігі 2 м. 5.6 Кестесінде секцияның температуралық–уақыттық сипаттамаларын есептеп шығаруға қажетті геометрикалық көрсеткіштер берілген.

**5.6 Кесте – Параметрлік есептеп шығаруға арналған геометрикалық параметрлер**

Сипаттама	Мәліметтер
Жалпы ауданы $A_f$ (м <sup>2</sup> )	36 (6 м x 6 м)
Желдету ауданы $A_v$ (м <sup>2</sup> )	7,2 (3,6 м ені x 2 м биіктігі)
Секция шекараларының жалпы ауадағы (оның ішінде терезелер) (м <sup>2</sup> )	$153,6 \cdot [(2 \times 6 \times 6) + (4 \times 3,4 \times 6)]$
Желдету ойығының биіктігі $h$ (м)	2
Ойық коэффициенті $O \cdot (м^{1/2}) = (A_v \cdot \sqrt{h})/A_t$	0,066

2) Шешімі

Қабырғалар мен едені гис картонымен теңгерілген, төбе жинақтық темірбетон пластиналарынан орындалған. 5.7 Кестесінде секцияның температуралық–уақыттық сипаттамасын есептеп шығаруға қажетті материалдардың қасиеттері көрсетілген.

Есептеу кезінде қолданылатын  $b$  мәні салмақталған орта шама болып табылады, және мұнда  $b = \Sigma \cdot (b_j \cdot A_j \cdot A_j)$ . Мұндағы  $b$ , 945 Дж/м<sup>2</sup> · с<sup>1/2</sup>К тең болады.

**5.7 Кесте – Параметрлік есептеп шығаруға арналған жылулық мәліметтер**

Конструкция	Материал	Жылу инерциясы ( $b$ мәні - $\text{Дж}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{1/2}\text{К}$ )	Ауданы ( $\text{м}^2$ )
Төбе	Бетон	2280	36
Еден	Гипс картон	520	36
Қабырғалар	Гипс картон	520	76.8

Қалыпты қолданылатын құрылыс материалдарының термодинамикалық көрсеткіштері туралы ақпарат ҚР ҚН ЕН–де келтірілмеген. Кейбір басшылыққа алатын мәліметтерді әдебиеттерден таба аласыз, және олар 5.8 Кестесінде көрсетілген.  $b$  мәнінің сәйкессіздігі, болжаммен айтқанда сол материалдардағы өзгерістерден болады. Осы салада ақпараттың көп болуы қажет екендігі анық. Болуы мүмкін барлық жерлерде, есептеп шығаруы үшін жобалаушылар материалдар бойынша нақты мәліметтер алуы үшін дайындаушылардан кеңес алуы тиіс.

**5.8 Кесте – Қалыпты қолданылатын құрылыс материалдардың термодинамикалық көрсеткіштері**

Материал	Жылу инерциясының мәні $b$ ( $\text{Дж}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{1/2}\text{К}$ )
Кәдімгі бетон	2034,7
Жеңіл бетон	1122,5
Конструкциялық болат	13 422,3
Кальций силикатының панелі	151,8
Ағаш	223,8
Керпіш	1521,5

Жалпы алғанда нормативті салыстырмалы өрт жүктемесі ҚР ҚН ЕН–де жаңғыртылған квантилдің 80%-дың саны деп алынған. Бұл жағдайда  $570 \text{ МДж}/\text{м}^2$  есептік салыстырмалы өрт жүктемесі қолданылады. 1991-1-2 ҚР ҚН ЕН–де және 5.9 Кестесіндегі салыстырмалы өрт жүктемелері ҚР ҚН ЕН–дегі мәндер бойынша көрсетілген. Әр түрлі құжаттардағы есептік мәндер әр қашан бір бірімен сәйкес келе бермейді, барлық жағдайларда есептеуге қабылданған әр бір көрсеткішті әбден тексеру қажет. Бұл критикалық есептік көрсеткіштерді жетілдіру үшін үлкен және күрделі жұмысты жасау қажет.

**5.9 Кесте – Салыстырмалы өрт жүктемелері**

Функционалды тағайындалуы	Нормативті салыстырмалы өрт жүктемесі (МДж/м <sup>2</sup> ) – 80%-дық квантиль
Тұрғын үй	948
Аурухана	280
Қонақ үй	377
Кеңсе	511
Мектеп	347

Бұл кіру мәліменттерімен (5.5) және (5.6) Формулалары секцияның температуралық–уақыттық сипаттамасын және күтілетін ұзақтықты есептеп шығару үшін қолданылады. Бұл жағдайда параметрлік теңдеу дегеніміз максималды температура 995°C және максималды температураның ұзақтығы 24 минутқа тең деп алынады. Отқа төзімділіктің нақты екі сынағының өлшелген мәндерімен салыстырғандағы есептелген сипаттама 5.3 Суретінде көрсетілген.

**5.6 Ортаның сыртқы температурасы**

5.6.1 Сыртқы конструктивті элементтер өрт кезінде немесе ғымараттағы ойықтар арқылы жіберілетін жылу арқылы оттың әсерінің астында қалуы мүмкін. 1991-1-2 ҚР ҚН ЕН–нің В Қосымшасы сыртқы конструкцияларға жылу әсерін анықтау үшін есептік әдісті қамтамасыз етеді.

5.6.2 Әдіс секциядағы максималды температураны есептеп шығаруды, ойықтардан шығатын от жалынының өлшемі мен температурасын есептеп шығаруды, жылу өткізгіштік және конвекция көрсеткіштерін өлшеп шығаруды ескереді.

**5.7 Өрттің жалпы моделдері**

Кейібір анықталған жағдайларда өрттің норминалды әсері немесе есептеп шығарудың қарапайым әдістерінен қараған күрделі жолмен жүру қажет болады. Жалпы әдістер, оның ішінде масса мен энергияны сақтау теңдеулерін шешуге негізделген зоналды моделдер немесе есептеуші гидродинамиканың күрделірек моделдері бақыланатын зона аясындағы әр түрлі нүктелердегі термодинамикалық және аэродинамикалық өзгерістердің болуына негізделген ақпаратты беруге қолданылады. Осы сияқты моделдер көптеген жылдар бойы түтін және уландырушы газдың қозғалысын анықтау үшін сәтті қолданылып келді, қазіргі кезде көлемді жалындау фазасынан кейінгі өрттің сценарийлері үшін температуралық ортаны анықтауы үшін кеңейтіліп жатыр. Ғимараттың инженерлік өртке қарсы жобасына жауапты инженер–құрылысшыларға мұндай күрделі моделдер жалпыға бірдей қол жетімді емес, және жалпы алғанда осы

моделдерді ғылыми–зерттеу институттары немесе кеңесі–мамандар өртке қарсы жобалауы үшін қолдануы тиіс.

## 6 ЭЛЕМЕНТТЕРДІҢ ТЕМПЕРАТУРАЛАРЫ

### 6.1 Жалпы ережелер

Өткен тақырыпта қарастырылған өрт секциясы аясындағы орта температурасын есептеп шығару рационалды инженерлік өртке қарсы жобалау үрдісіндегі бірінші қадамы болып табылады. Келесі қадам – есептеп шығару ақылы немесе басылған мәліметтерге деген сілтеме арқылы құрылыс элементтерін аясында температураның бөлінуін анықтау.

### 6.2 Болат конструкцияның қима коэффициенттері

Болат элементтің жылу қасиетін өлшеуге ықшамды көрсеткіш қима коэффициенті  $A/V$  болып табылады. Болат арқылықта немесе колоннада температура жоғарлайтын кезіндегі теңдеу негізінен өрттің әсерінің астындағы болаттың бетінің ауданына ( $A$ ) тура пропорционалды, және қиманың массасына немесе көлеміне ( $V$ ) кері пропорционал. Қима коэффициенті төмен элемент өрт кезінде қима коэффициенті жоғары болатын элементтен қарағанда жай қызады.

Әр түрлі қорғалмаған қималарға арналған қима коэффициентін есептеу 6.1 Суретінде көрсетілген.

### 6.3 Қорғалмаған болат бұйымдар

1993-1-2 ҚР ҚН EN–де қорғалмаған болат элементтердің жылу қасиеттерін есептеп шығаруға қарапайым есептік әдісті қабылдаған. Бұл әдісті басқа металлдарға қолдануға болады, оның ішінде қақталған темір, шойын, алюминий ертінділері және тот баспайтын болат.

Көлденең қимада эквивалентті тегіс температуралы бөліну болатындығын алып уақыт интервалы  $\Delta t$  кезіндегі қорғалмаған болат элементтегі температураның өсуі  $\Delta\theta_{a,t}[K]$  келесі формуламен анықталады:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \cdot \frac{A_m/V}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \dot{h}_{net,d} \cdot \Delta t, \quad \Delta t \leq 5c \text{ үшін} \quad (6.1)$$

мұндағы:  $\rho_a$  - болат тығыздығы ( $kg/m^3$ );

$A_m$  - элементтің бірлік ұзындыққа келетін бетінің ауданы ( $m^2$ );

$A_m/V$  - қорғалмаған болат элементтерге арналған қима коэффициенті ( $m^{-1}$ );

$c_a$  - болаттың салыстырмалы жылу сиымдылығы ( $DJ/kg \cdot K$ );

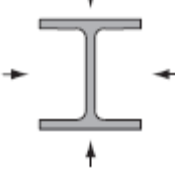
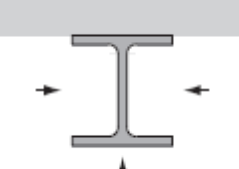
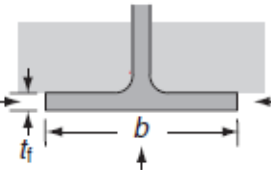
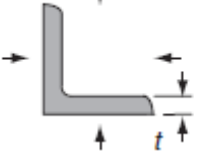
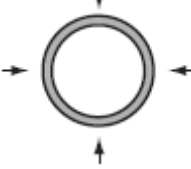
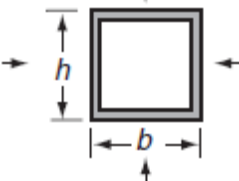
$\dot{h}_{net,d}$  - бірлік ауданға келетін нәтижелеуші жылу ағыны ( $W/m^2$ );

$k_{sh}$  - көлеңкелеу эффектісіне арналған түзету коэффициенті (эффект аз болса  $k_{sh} = 1.0$ );

$\Delta t$  - уақыт интервалы (с);

$V$  - бірлік ұзындыққа келетін элементтің көлемі ( $m^3$ ).



Түрі	Сипаттама	Қима коэффициенті $A_m/V$
	Барлық жағынан от әсер еткендегі ашық қима	$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{периметр}}{\text{көлденең қима ауданы}}$
	Үш жағынан от әсер еткендегі ашық қима	$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{өрт әсер еткен бет}}{\text{көлденең қима ауданы}}$
	Үш жағынан әсер еткендегі екітаврлық профилдің полкасы	$\frac{A_m}{V} = \frac{b+2 \cdot t_f}{b t_f}$ немесе $\frac{A_m}{V} \approx \frac{1}{t_f}$ , $t_f \ll b$ үшін
	Барлық жағынан от әсер еткендегі бұрыш	$\frac{A_m}{V} = \frac{2}{t}$
	Барлық жағынан от әсер еткендегі құбыр	$\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t}$
	Барлық жағынан от әсер еткендегі толық профил немесе пісіргендегі қорап тәрізді қима	$\frac{A_m}{V} = \frac{2 \cdot (b + h)}{\text{көлденең қима ауданы}}$ немесе $\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t}$ , $t \ll b$ үшін

### 6.1 Сурет – Қорғалмаған болат элементтеріне арналған қима коэффициенті

Тік бұрышты немесе дөңгелек қуыс профильдер сияқты дөңес формалы көлденең қималар үшін өрт әсері кезінде көлеңкелеу эффектісі рөл атқармайды, және оның мәні  $k_{sh} = 1,0$  тең болады. Басқаша айтқанда, көлеңкелеу эффектісіне арналған түзету коэффициенті  $k_{sh}$  келесідей анықталады:

$$k_{sh} = \begin{cases} 0,9 \cdot [A_m/V]_b & \text{өрттің норминалды әсері кезіндегі екітаңбалы қима үшін} \\ \frac{A_m/V}{[A_m/V]_b} & \text{басқа жағдайлар үшін} \end{cases}$$

мұндағы

$A_m/V \geq 10 \text{ м}^{-1}$  и  $[A_m/V]_b$  қима коэффициентінің шекті мәндері.

## 6.4 Өртке қарсы қорғаныспен оңашаланған болат конструкциялар

Реактивті емес от қорғаныс материалдармен оңашаланған болат элементтеріне арналған қарапайым есептеу әдісі 1993-1-2 ҚР ҚН ЕН–де көрсетілген. Оңашалаушы материалдар профилденген немесе қорапты қаптама формасы ретінде бола алады, бірақ оның құрамына көбіктенетін жабын кірмейді. Уақытша интервал уақыты үшін  $\Delta t (\leq 30 \text{ с})$  оқшауланған болат элементтің температурасының өсуі  $\Delta \theta_{a,t}$  температураның біркелкі бөлінуін қабылдай отырып келесі формуламен анықталады:

$$\Delta \theta_{a,t} = \frac{\lambda_p \cdot A_p / V}{d_p \cdot c_a \cdot \rho_a} \cdot \frac{(\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{(1 + \phi/3)} \cdot \Delta t \cdot (e^{\phi/10} - 1) \cdot \Delta \theta_{g,t} \text{ бірақ } \Delta \theta_{a,t} \geq 0 \text{ болады, егер} \quad (6.2)$$

$$\Delta \theta_{g,t} > 0 \text{ болса}$$

мұндағы

$$\phi = \frac{c_p \cdot \rho_p}{c_a \cdot \rho_a} \cdot d_p \cdot A_p / V$$

Түрі	Сипаттама	Қима коэффициенті $A_p/V$
	Біркелкі жуандық контурын қаптау	$\frac{A_p}{V} = \frac{\text{болат периметрі}}{\text{болаттың көлденеі қима ауданы}}$
	Үш жағынан өрт әсер еткендегі біркелкі жуандық контурын қаптау	$\frac{A_p}{V} = \frac{\text{болат периметрі} - b}{\text{болаттың көлденең қима ауданы}}$
	Біркелкі жуандық контурын толық қаптау ( $c_1$ және $c_2 < \frac{h}{4}$ жіберіледі)	$\frac{A_p}{V} = \frac{2 \cdot (b + h)}{\text{болаттың көлденең қима ауданы}}$
	Барлық жағынан өрт әсер еткендегі біркелкі жуандық контурын толық қаптау ( $c_1$ және $c_2 < \frac{h}{4}$ жіберіледі)	$\frac{A_p}{V} = \frac{2 \cdot h + b}{\text{болаттың көлденең қима ауданы}}$

6.2 Сурет – Оқшауланған болат элементтерге арналған қима коэффициенті

мұндағы  $\lambda_p$  - Оттаң қорғаушы материалдың жылу өткізгіштігі (Вт/м · К);

$\theta_{a,t}$  -  $t$  уақыты кезіндегі болаттың температурасы (°С);

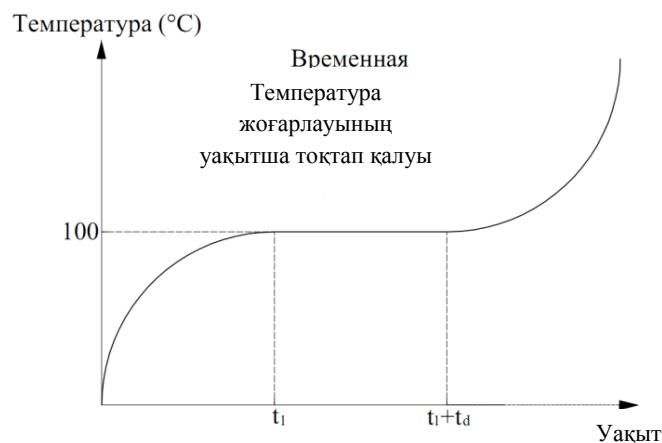
$\theta_{g,t}$  -  $t$  уақыты кезіндегі қоршаған ортаның температурасы (°С);

$\Delta \theta_{g,t}$  -  $\Delta t$  уақыт интервалына қоршаған орта температурасының өсуі (К);

$\rho_a$  - болат тығыздығы (кг/м<sup>2</sup>);

- $\rho_p$  - оттан қорғаушы материалдың тығыздығы (кг/м<sup>3</sup>);  
 $A_p/V$  - оттан қорғаушы материалмен оқшауланған болат элементтеріне арналған қима коэффициенті (м<sup>-1</sup>);  
 $A_p$  - бірлік ұзындыққа келетін оттан қорғаушы материалдың бөлігі (м<sup>2</sup>);  
 $c_a$  - температураға тәуелді болаттың салыстырмалы жылу сиымдылығы (Дж/кг · К);  
 $c_p$  - оттан қорғаушы материалдың температураға тәуелсіз салыстырмалы жылу сиымдылығы (Дж/кг · К);  
 $d_p$  - оттан қорғаушы материалдың жуандығы (м);  
 $\Delta t$  - уақытша интервал (с);  
 $V$  - бірлік ұзындыққа келетін болат элементтің көлемі (м<sup>3</sup>).

6.2 Суреті оқшауланған болат элементтерге арналған қима коэффициенттерінің  $A_p/V$  кейбір есептік мәндерін көрсетеді. Оттан қорғаушы материалдың  $A_p$  ауданы, жалпылай алғанда оның ішкі бетінің ауданы ретін алынғандығын белгілеп кеткен жөн. Болат элементтер айналасында тесігі бар қуыстарды қаптауы үшін  $A_p$  мәні тесігі жоқ қуыс қаптама ретін алынған.



**6.3 Сурет – Қорғау материалдары үшін температура өсуінің уақытша тоқтауын бағалау**

Болаттың температурасы өсуіндегі уақытша тоқтауды  $t_d$  ескеруі үшін шикі оттан қорғаушы материалдар үшін болаттың температурасының өсуін  $\Delta\theta_a$  түзетуге болады, бұл жағдай болаттың температурасы 6.3 Суретті көрсетілгендей 100°C болғанда орындалады.

## 7 СТАТИСТИКАЛЫҚ ЖҮКТЕМЕЛЕР

### 7.1 Жалпы ережелер

Өрт кезінде конструкция элементінің қылығын тура бағалау, температура өсуі кезінде материал қасиеттері төмендеуі туралы және өрт кезінде конструкцияға әсер ететін жүктемені тура бағалау туралы білімді талап етеді. Өрт кезінде жүктеменер елеулі түрде әсер етеді, бұл жүктеменің нақты дәрежелеріндегі талаптарда көрсетілген, ол бойынша жүктеменер стандартты сынақтар кезінде отқа төзімділікке әсер етуі тиіс. ҚР ҚН EN – н

құрамында болат және болаттемірбетон конструкцияларға байланысты ғана әсерлер ғана емес, сонымен қатар темірбетон элементтері үшін әсерлер бар.

## 7.2 Жүктемелердің сенімділік коэффициенттері

Жүктемелердің қажетті комбинацияларын қамтамасыз ететін (қалыпты есептік температура үшін) 1990 ҚР ҚН ЕН – мен (Жобалау негіздері) және температураны есептеу кезіндегі жылу әсерлерінің қол жетімді көрсеткіштерін анықтаумен қатар (3 Тақырыпты қараңыз) құрылыс конструкцияларын есептеу кезіндегі механикалық әсерлерді қарастыратын 1991-1-2 ҚР ҚН ЕН – мен (өртке қарсы бөлім) жобалаушы таныс болуы тиіс. Жалпы алғанда 1991-1-2 ҚР ҚН ЕН өрт кезіндегі шекті жағдайдағы уақытша жүктеменің сенімділік коэффициентін анықтайды (бас ауыспалы әсерді қолдана отырып). Оттың әсері – Салмақ көтеру қабілеттілігі бойынша бірінші шекті жағдайдың апаттық есептік жағдайы (1990 ҚР ҚН ЕН – ді қараңыз), келесі формадағы:

$$E_d = E \cdot (G_{k,j}; P; A_d \cdot (\Psi_{1,1} \text{ или } \Psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1}; \Psi_{2,i} Q_{k,i}), j \geq 1; i > 1 \text{ үшін} \quad (7.1)$$

мұндағы

- E - әсердің эффекті ( $E_d$  – әсер эффектісінің есептік мәні);
- G - тұрақты әсер (тұрақты жүктеме);
- P - алдын ала күшейтуге сәйкес келетін нормативті мән (қажет болған жағдайда);
- $A_d$ - ерекше (апаттық) әсердің есептік мәні;
- $\Psi_1$ - ауыспалы әсер мәнінің коэффициенті;
- $\Psi_2$ - ауыспалы әсердің квазитұрақты мәнінің коэффициенті;
- $Q_k$ - бір ауыспалы әсердің нормативті мәні ( $Q_{k,1}$  – бас ауыспалы әсердің нормативті мәні – көп жағдайларда бұл уақытша жүктеме).

Өрт кезіндегі жағдайда  $A_d$  – өрттің тура конструкцияға әсер етуі (жылулық кеңею, температураның қайта бөлінуі және т.б. болатын жүктеме) 1991-1-2 ҚР ҚН ЕН – ң талабы: «Шектес элементтердің тура әсерін, бұл элементтерге деген өртке қарсы қауіпсіздік талаптары өрттің стандартты шарттарына жатқызылғанда қарастырудың қажеті жоқ».

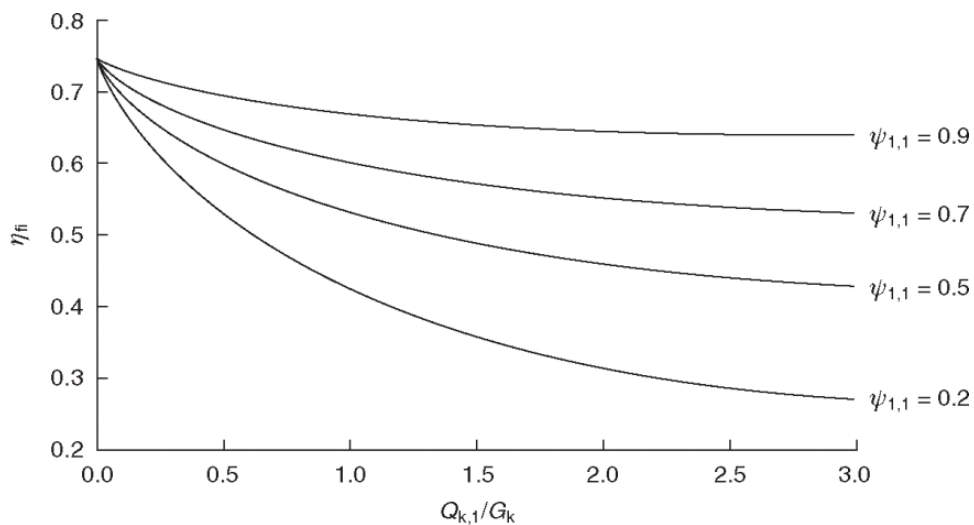
### 7.1 Кесте – $\psi_{fi}$ мәндері

Әсер ету	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Ғимарттардың уақытша жүктемелер:		
Категория А: ішкі, тұрғын үй	0,5	0,3
Категория В: кеңселер	0,5	0,3
Категория С: конгрегация бөлімдері	0,7	0,6
Категория D: сауда аудандары	0,7	0,6
Категория Е: қоймалар	0,9	0,8
Категория F: жүргінші бөлігі < 30 кН	0,7	0,6
Категория G: жүргінші бөлігі 30 – 160 кН	0,5	0,3
Категория Н: шатырлар	0	0
Қар жүктемесі: $H < 1000 \text{ м. а. с. л.}$	-	0
Ғимартақа желдің келтіретін жүктемесі	0,2	0

Бұдан басқа, «Өрттің әсері нәтижесінде болатын температураның өзгерісінен туындайтын уақытша және жектеулі кеңейтулер мен деформациялар, мысалы айтқанда күштер мен моменттерді келесібірден басқа кездерде ғана қарастыру қажет::

- маңызды емес немесе жағымды деп анықталған априори болғанда;
- тірелудің консервативті түрде таңдалып алынған моделдері мен шектік шарттармен ескерілген және/немесе өртке қарсы қауыпсіздіктің консервативті талаптарымен нақты емес қарастырылған».

1990 ҚР ҚН ЕН негізгі ауыспалы әсерлерді (жалпы алғанда уақытша жүктеме)  $\Psi_1$  немесе  $\Psi_2$  қатар қолдануға рұқсат береді. 1991-1-2 ҚР ҚН ЕН  $\Psi_2$  – ді қолдануды ұсынады;  $\Psi_1$  – ді қолданудың деректері 7.1. Кестесінде көрсетілген.



**7.1 Сурет – Төмендетуші коэффициент  $\eta_{fi}$  және  $\Psi_{fi}$  мәнінен арналған тұрақты және уақытша жүктемелер арасындағы қарым қатынас**

### 7.3 Жүктемелердің есептік мәндері

#### 7.3.1 Жалпы ережелер

Өрт кезіндегі шекті жағдайларға арналған кішірейтілген сенімділік коэффициенттері ұғымы есептік мысалды қолдана отырып түсіндірілген. 6 м × 9 м алаңында қойылған жүктемеге деген қарсылытағы алты қабатты қатты каркастағы колоннаның есебі үшін есептеп шығару. Өрт кезіндегі шекті жағдайда колоннандағы есептік бойлық күшті есептеп шығару сенімділіктің сәйкес коэффициенттерін қолдана отырып жүргізіледі.

#### 7.3.2 Жүктеме

Тұрақты әсерлер (G):

- Жалпы аудан бойынша  $G_k = 2,00 \text{ кН/м}^2$  тегіс бөлінген жүктеме (РРН)

Ауыспалы әсерлер (Q):

- Жалпы аудан бойынша  $Q_k = 3,50 \text{ кН/м}^2$  тегіс бөлінге жүктеме (РРН)

### 7.3.3 Қалыпты температура кезіндегі есептік жүктемелер

Жүктемедең коэффициенттері:

- Тұрақты әсерлерге арналған жүктемелер коэффициенті  $\gamma_G = 1,35$  (1990 ҚР ҚН EN а А1.2В Кестесі және НП);

- Ауыспалы әсерлерге арналған жүктемелер коэффициенті  $\gamma_Q = 1,50$  (1990 ҚР ҚН EN а А1.2В Кестесі және НП).

Жүктемелердің есептік мәндері – салмақ көтеру қабілеттілігін жоғалту бойынша шектік жағдай:

$$\text{Еденнің РРН } W = (\gamma_G \cdot G_k) + (\gamma_Q \cdot Q_k) = 7,95 \text{ кН/м}^2$$

$$\text{Есептік ось күші } N_{Ed} = 6\text{м} \times 9\text{м} \cdot W \cdot 5 = 2146,50 \text{ кН}$$

### 7.3.4 Өрт кезіндегі шекті жағдайдың есептік жүктемелері

Өрт кезіндегі шекті жағдай үшін алынатын жүктеме коэффициенттері  $\gamma_i$  тұрақты немесе ауыспалы әсерлерге қолданылмайды.

Ауыспалы әсерге арналған комбинация коэффициенті  $\Psi_1 = 0,50$ . Бұл – 7.1 Кестесінен алынған кеңселерге арналған мәндер.

ЕСКЕРТПЕ 1990 EN басты ауыспалы әсермен  $\Psi_1$  немесе  $\Psi_2$  қолдануға рұқсат береді.

### 7.3.5 Әсер етудің есептік мәндері – салмақ көтеру қабілеттілігі бойынша бірінші шекті жағдайға арналған құрылыстық өртке қарсы жобалауға байланысты жағдай

$$\text{Еден РРН } W = G_k + (\Psi_1 \cdot Q_k) = 3,75 \text{ кН/м}^2$$

$$\text{Есептік ось күші } N_{Ed} = 6\text{м} \times 9\text{м} \cdot W \cdot 5 = 1012,50 \text{ кН}$$

### 7.4 Жүктеме дәрежесін, интенсивтілігін және қолдану коэффициентін анықтау

Өрт кезіндегі шекті жағдайда элементтің салмақ көтеру қабілеттілігі өрт кезінде түскен жүктеме көлемі бойынша қалыпты температура кезіндегі салмақ көтеру қабілеттілігімен салыстыра отырып бағаланады. Жүктеме қарым – қатынасы ұғымы кестеге жинақталған мәліметтерге байланысты өте пайдалы болып табылады, себебі ол болуы мүмкін қолданыстың кең диапазонын қамтитын типті шешімдерді ескереді.

ҚР ҚН EN – ге сәйкес келетін барлық өртке қарсы бөлімдер бойынша өрт кезіндегі шекті жағдайда төмендетуші коэффициенті ұғымы қолданылады, мұндағы 1990 ҚР ҚН EN – дегі жүктеме комбинациясы үшін төмендетуші коэффициенті  $\eta_{fi} = (G_k + \Psi_{fi} \cdot Q_{k1}) / (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1})$  (6.10).

#### 7.4.1 Жүктеме дәрежесі (n)

Бұл термин темірбетон колонналардың өртке төзімділігін анықтау үшін қолданылады және қалыпты температурадағы салмақ көтеруші қабілеттілік пен өрт кезіндегі салмақ көтеру қабілеттілігін байланыстырады.

$$n = N_{0Ed,fi} / [0.7 \cdot (A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd})] \quad (7.2)$$

мұндағы  $N_{0Ed,fi}$  - өрт шарттары кезіндегі остік жүктеме (кН);

$A_c$  - темірбетон ауданы ( $\text{мм}^2$ );

$f_{c,d}$  - сығу кезіндегі темірбетон мықтылығының есептік шегі ( $\text{Н/мм}^2$ );

$f_{y,d}$  - болат ауданы ( $\text{мм}^2$ );

$A_s$  - болат мықтылығының есептік шегі ( $\text{Н/мм}^2$ ).

Өрт кезінде болған жүктеме өрт кезіндегі шекті жағдайдағы жүктеме бойынша таңдалып алынған сенімділік коэффициентіне байланысты болады. Рұқсат етілген мәндер 1990 ҚР ҚН EN – де көрсетілген, және ондағы таңдау 1991 ҚР ҚН EN –бөлімінің Ұлттың Қосымшасынан алынған. Ең көп таралған жағдайлар (тұрғын үшін және кеңселер) үшін қойылған жүктемеге арналған коэффициенттің мәні 0,5 болады, яғни қалыпты температурады  $0,5 \times$  мәні болады. Консервативті болжау ретінде, нақты есептелмеген жағдайда, жүктеменің дәрежесін есептеп шығару үшін  $N_{0Ed,fi}$  шамасын  $N_{0Ed,fi}$  ( $\eta_{fi} = 0,7$ ) ретінде алуға болады.

#### 7.4.2 Қолдану коэффициенті ( $\mu_{fi}$ )

Бұл – өрт кезіндегі шекті жағдайда болған жүктеменің қалыпты температура кезінде болатын жүктемеге деген қатынасы, және өрт кезіндегі шекті жағдай үшін сенімділік коэффициентін таңдауымен қабылданған. Колонналар мен көтеруші қабырғаларды есептеу кезінде қолданылды:

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} \quad (7.3)$$

мұндағы  $N_{Ed,fi}$  – өрт кезіндегі жағдайдағы есептік осьтік жүктеме (кН), және  $N_{Rd}$  – қалыпты температуралық жағдайдағы колоннаның есептік салмақ көтеру қабілеттілігі (кН).

Консервативті болжам ретінде есептік жүктеменің дәрежесін анықтау үшін  $\eta_{fi}$  төмендетуші коэффициентін  $\mu_{fi}$  – ң орнына қолдануға болады, себебі  $\eta_{fi}$  қалыпты температуралық жағдайларда элемент толығымен жүктелген деп болжалады.

## **8 МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ЖЫЛУ ЖӘНЕ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ**

### **8.1 Жалпы ережелер**

1993-1-2 ҚР ҚН EN ыстыктегістелген көміртекті болат, тот баспайтын болат, жұқа қабырғалы болат, бұрандалар мен пісірілген тігіс материалдарының қасиеттері туралы көрініс береді.

### **8.2 Болат**

#### **8.2.1 Жалпы ережелер**

8.2.1.1 Ыстыктегістелген көміртекті болат 300°C жоғары температура кезінде мықтылығынан айырла бастайды. Одан әрі 800°C – ге дейін мықтылығынан айырла береді. Осы температурадан кейін аздап қалған мықтылық баяу азаяды, бұл болаттың балқу температурасына 1500°C жеткенге дейін жалғасады. Бұл жосық ыстыктегістелген арматуралық болаттарға тән. Суыктегістелген болаттар үшін, оның ішінде арматура бар, 300°C температурадан кейін мықтылық тез төмендейді. Мықтылық пен қаттылық төмендеуімен қатар болат 450°C – дан жоғары температураларда еңбектеу құбылысына душар болады.

8.2.1.2 Жоғарғытемпературалық еңбектеу кернеу дәрежесі және қыздыру дәрежесіне тәуелді. Еңбектеу құбылысының пайда болуы өрт жағдайларында болат конструкциялардың мықтылығы мен деформациясын бағалау кезінде кернеу мен температураның алдындағы жағдай ескерілуі қажет екендігін көрсетеді. Есепке нақты еңбектеу құбылысын аналитикалық әдістер аясында қосу өте қиын болып келеді. ҚР ҚН EN – де көрсетілген қарапайым есептік әдістемелер үшін температураның өзгерісі кезіндегі кернеу – ұзару тәуелділіктерінде нақты қарастырылмайтындығы мойындалған.

8.2.1.3 Әр түрлі типті болаттардың жылу және механикалық қасиеттері жоғарғы температуралық жағдайларда қарастырылуы тиіс. Олардың құрамына кіреді:

- Ыстыктегістерген көміртекті болат
- Тот баспайтын болат
- Жұқа қабырғалы болат.

#### **8.2.2 Ыстыктегістелген көміртекті болат**

##### **8.2.2.1 Жалпы ережелер**

1993-1-2 ҚР ҚН EN – де 10025 EN – ге сәйкес S235, S275 және S355 классты ыстыктегістелген болаттарға арналған материалдардың қасиеттері келтірілген.

ЕСКЕРТПЕ 10025 EN – ге сәйкес клетін отандық болат маркаларын қолдануға рұқсат берілген (осы құралдың Б Қосымшасын қараңыз) .



### 8.2.2.2 Жылу қасиеттері

Болаттың жылулық кеңею, жылу өткізгіштік және салыстырмалы жылу сиымдылық қасиеттері болаттың температурасына байланысты.

а) болаттың жылулық кеңею коэффициентін  $\Delta l/l$  келесі формула бойынша анықтауға болады:

$$\frac{\Delta l}{l} = 1,2 \times 10^{-5} \cdot \theta_a + 0,4 \times 10^{-8} \cdot \theta_a^2 - 2,416 \times 10^{-4} \text{ если } 20^\circ\text{C} \leq \theta_a < 750^\circ\text{C} \quad (8.1a)$$

$$\Delta l/l = 1,1 \times 10^{-2}, \text{ егер } 750^\circ\text{C} \leq \theta_a < 860^\circ\text{C} \text{ болсы} \quad (8.1b)$$

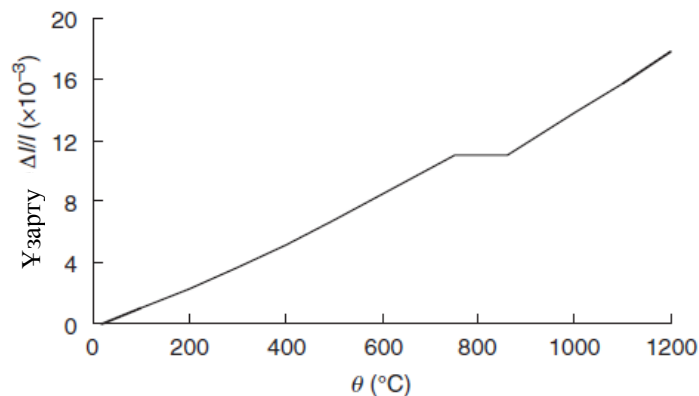
$$\Delta l/l = 2 \times 10^{-5} \cdot \theta_a - 6,2 \times 10^{-3}, \text{ егер } 860^\circ\text{C} \leq \theta_a < 1200^\circ\text{C} \text{ болса} \quad (8.1c)$$

мұндағы  $l$  -  $20^\circ\text{C}$  кезіндегі ұзындық;

$\Delta l$  - болған температуралық ұзару;

$\theta_a$  - болаттың температурасы ( $^\circ\text{C}$ ).

Температураға тәуелді температуралық ұзарудың өзгеруі 8.1 Суретте көрсетілген;



**8.1 Сурет – Көміртекті болаттың жылулық ұзару температураның функциясы ретінде**

б) болаттың салыстырмалы жылу сиымдылығын  $c_a$  (в Дж/кг · К) келесі формула бойынша анықтауға болады:

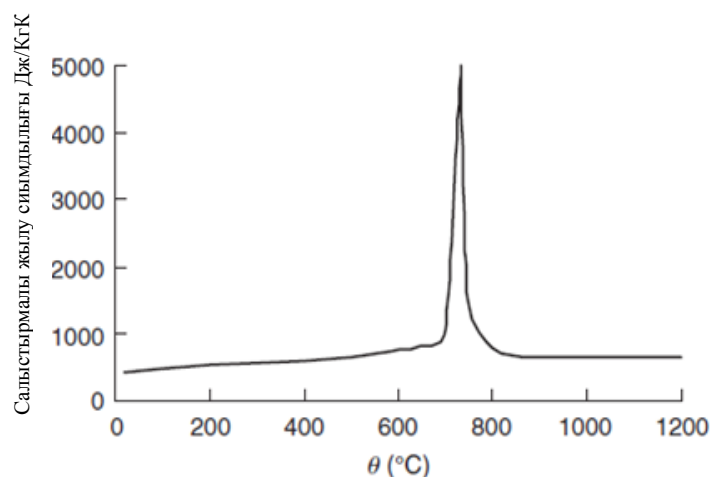
$$c_a = 425 + 7,73 \times 10^{-1} \cdot \theta_a - 1,69 \times 10^{-3} \cdot \theta_a^2 + 2,22 \times 10^{-6} \cdot \theta_a^3, \text{ егер } 20^\circ\text{C} \leq \theta_a < 600^\circ\text{C} \text{ болса} \quad (8.2a)$$

$$c_a = 666 + 13002/(738 - \theta_a), \text{ егер } 600^\circ\text{C} \leq \theta_a < 735^\circ\text{C} \text{ болса} \quad (8.2b)$$

$$c_a = 545 + 17820/(\theta_a - 731), \text{ егер } 735^\circ\text{C} \leq \theta_a < 900^\circ\text{C} \text{ болса} \quad (8.2c)$$

$$c_a = 650, \text{ егер } 900^\circ\text{C} \leq \theta_a < 1200^\circ\text{C} \text{ болса} \quad (8.2d)$$

Температураға тәуелді салыстырмалы жылу сиымдылықтың өзгерісі 8.2 Суретінде көрсетілген;



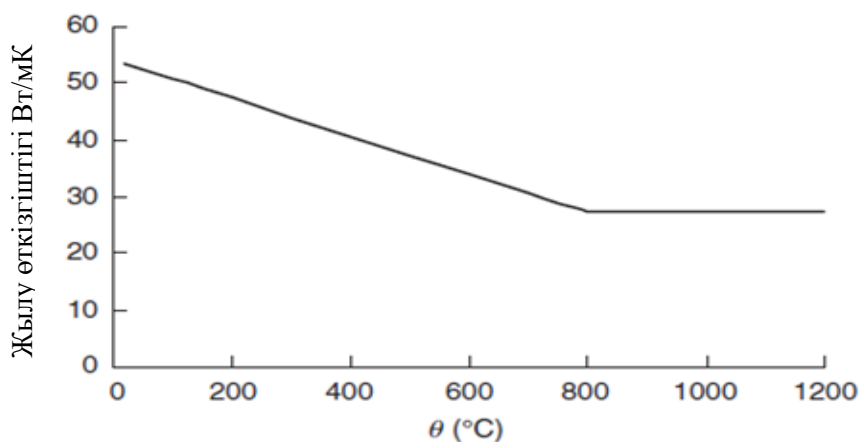
**8.2 Сурет – Көміртектегі болаттың салыстырмалы жылу көлемі температураның функциясы ретінде**

в) болаттың жылу өткізгіштігін  $\lambda_a$  (Вт/мК) келесідей анықтауға болады:

$$\lambda_a = 54 - 3.33 \times 10^{-2} \cdot \theta_a, \text{ егер } 20^\circ\text{C} \leq \theta_a < 800^\circ\text{C} \text{ болса} \quad (8.3a)$$

$$\lambda_a = 27,3, \text{ егер } 800^\circ\text{C} \leq \theta_a < 1200^\circ\text{C} \text{ болса} \quad (8.3b)$$

Температураға тәуелді жылу өткізгіштіктің өзгерісі 8.3 Суретінде көрсетілген.



**8.3 Сурет – Көміртектегі болаттың жылу өткізгіштігі температураның функциясы ретінде**

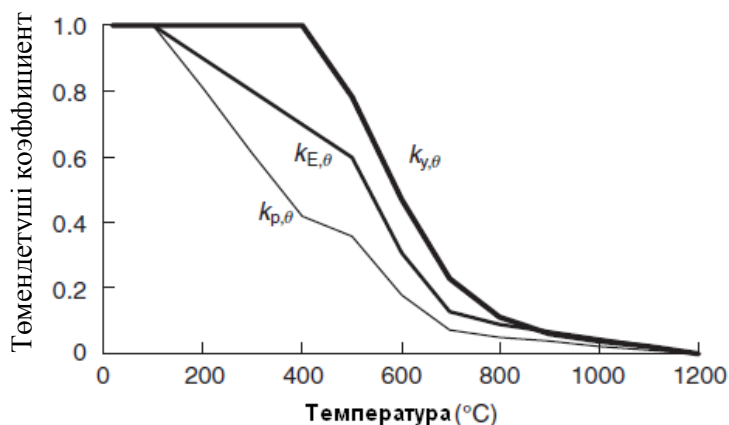
### 8.2.2.3 Механикалық қасиеттер

Кернеу диаграммасы – жоғарғы температуралар кезінде көміртектегі болаттың ұзаруы ағудың нақты ауданын созылымдылықтың барлық диапазонында деформациялық катаюды көрсетпейді. Отқа төзімділіктің стандартты сынақтарында аркалықтар мен колонналардың тәртібін елестету үшін қыздыру көрсеткіштерін 5-20°C/мин диапазонында белгіледі

Сынақ нәтижелері бойынша көміртекті болат өзінің мықтылығын 300°C – тан жоғары температурада жоғалта бастайтындығы және мықтылығын 800°C температураға дейін тез жоғалтатындығы анықталды. 20°C – дағы аққыштықтың нақты алаңы жоғарғы температурада кернеу көбейген сайын біртіндеп мықтылықтың көбеюімен (немесе механикалық қатаю) алмасады. 1993-1-2 ҚР ҚН ЕН 8.1 Кестесінде келтірілген аққыштықтың есептік шегіне, иілгіштік шегіне және сызықтық–иілгіштік диапазонға арналған төмендетуші коэффициенттерді көрсеткен. Аққыштықтың есептік шегі кернеудің 2%-дық шегімен байланысты. Температураға байланысты төмендетуші коэффициенттердің өзгерісі 8.4 Суретінде келтірілген.

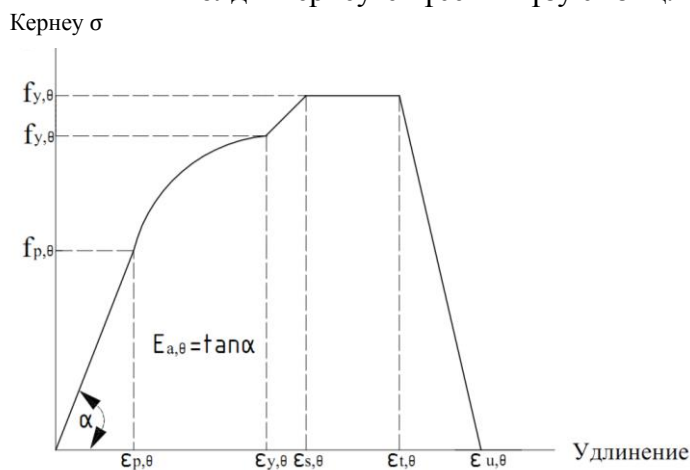
**8.1 Кесте – Жоғарғы температуралар кезіндегі кернеу – ұзындық тәуелділігіне арналған төмендетуші коэффициентер**

Болаттың температурасы $\theta_a$ (°C)	Аққыштықтың есептік шегіне арналған төмендетуші коэффициент $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Иілгіштіктің шегіне арналған төмендетуші коэффициент $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Иілгіштік модуліне арналған төмендетуші коэффициент $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20	1,000	1,000	1,000
100	1,000	1,000	1,000
200	1,000	0,807	0,900
300	1,000	0,613	0,800
400	1,000	0,420	0,700
500	0,780	0,360	0,600
600	0,470	0,180	0,310
700	0,230	0,075	0,130
800	0,110	0,050	0,090
900	0,060	0,0375	0,0675
1000	0,040	0,0250	0,0450
1100	0,020	0,0125	0,0225
1200	0,000	0,0000	0,0000



#### 8.4 Сурет – Жоғарғы температуралар кезіндегі көміртекті болаттың кернеу – ұзындық тәуелділігіне арналған төмендетуші коэффициенттер

Аққыштықтың есептік шегін, иілгіштік шегін және сызықтық–иілгіштік диапазонын анықтау 1993-1-2 ҚР ҚН EN – де берілген жоғары температуралар кезіндегі болатқа арналған кернеу – ұзару моделі негізінде белгіленген. 8.5 Суреті қисықтың бірінші бөлігі – иілгіштіктің шегіне  $f_{p,\theta}$  дейін жүретін түзу сызық екендігін, және  $E_{a,\theta}$  иілгіштік модульі осы түзусызықты сегменттің иілу бұрышына тең екендігін көрсетеді. Қисықтың екінші бөлігі иілгіш кезеңнен созымдылық кезеңіне өтуін көрсетеді. Бұл бөлік аққыштықтың есептік шегіне  $f_{y,\theta}$  дейін эллиптикалық аппроксимациямен анықталған. Қисықтың үшінші бөлігі – аққыштықтың шектік деформацияға дейінгі жазық ауданы. Қисықтың соңғы бөлігі – шектік деформация кезінде нөлдік кернеуге түсетін түзу сызық.



#### 8.5 Суреті – Жоғарғы температуралар кезіндегі көміртекті болатқа арналған кернеу – ұзындық тәуелділігін математикалық формулировкалары

Жоғарғы температуралар кезіндегі төмендетуші коэффициенттерді салыстыра отырып (8.1 Сурет) болаттың қаттылығы оның мықтылығынан қарағанда тез азаятынын байқауға болады. Бұл дегеніміз болат элементтердің тоқтап қалу түрлері жоғары температуралар кезінде өзгереде дегенді көрсетеді. Мысалы, қалыпты температура кезіндегі критикалық жүктеме астындағы пластикалық шарнирдің пайда болу кезеңінде

тоқтап қалуы үшін жобаланған және жұқа екітаврлі профилден тұратын болат арқалық жоғары температуралар кезінде қабырғасы алдын ала тұрақтылығын жоғалтқаннан болып тоқтап қалуы мүмкін.

1993-1-2 ҚР ҚН ЕН 8.6 Суретінде көрсетілгендей жоғарғы температуралар кезіндегі болаттың кернеу – ұзындық тәуелділігіне арналған тәптіштелген математикалық аппроксимацияны көрсетеді. Еңбекту эффектісі қыздыру кезінді қолданылатын материалдардың моделдері негізінде нақты емес 2 және 50 К/мин аралығында қарастырылады.

**Кесте 8.2 – Кернеудің тәуелділігімен математикалық тұжырымдама - жоғары температурадағы көміртекті болаттар үшін ұзаруы**

Деформацияның шашылуы	Кернеулер $\sigma_a(\theta_a)$	Жанама модуль
$\varepsilon \leq \varepsilon_{p,\theta}$	$\varepsilon \cdot E_{a,\theta}$	$E_{a,\theta}$
$\varepsilon_{p,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{y,\theta}$	$f_{p,\theta} - c + \frac{b}{a} \cdot \sqrt{a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2}$	$\frac{b \cdot (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)}{a \cdot \sqrt{a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2}}$
$\varepsilon_{y,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{t,\theta}$	$f_{y,\theta}$	0
$\varepsilon_{t,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{u,\theta}$	$f_{y,\theta} \cdot [1 - (\varepsilon - \varepsilon_{t,\theta}) / (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{t,\theta})]$	—
$\varepsilon = \varepsilon_{u,\theta}$	0.00	—

ЕСКЕРТПЕ 1  $\varepsilon_{p,\theta}$  көрсеткіші келесі формуламен анықталады:

$$\varepsilon_{p,\theta} = f_{p,\theta} / E_{a,\theta} \cdot \varepsilon_{y,\theta} = 0.02 \cdot \varepsilon_{t,\theta} = 0.15 \cdot \varepsilon_{u,\theta} = 0.20$$

ЕСКЕРТПЕ 2 а, b және c функциялар келесі формулалармен анықталады:

$$a^2 = (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) \cdot (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta} + c / E_{a,\theta})$$

$$b^2 = c \cdot (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) \cdot E_{a,\theta} + c^2$$

$$c = (f_{y,\theta} - f_{p,\theta})^2 / [(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) \cdot E_{a,\theta} - 2 \cdot (f_{y,\theta} - f_{p,\theta})]$$

ЕСКЕРТПЕ 3 8.2 Кестеде қолданылатын рәміздер:

$f_{y,\theta}$  - жоғарғы температуралар кезіндегі аққыштықтың есептік шегі;

$f_{p,\theta}$  - жоғарғы температуралар кезіндегі иілгіштік шегі;

$E_{a,\theta}$  - жоғарғы температуралар кезіндегі иілгіштік модуль;

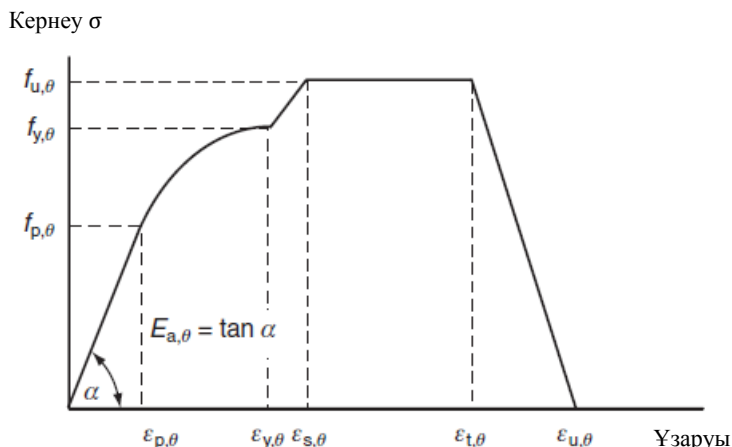
E - бөлме температурасы кезіндегі иілгіштік модуль;

$\varepsilon_{p,\theta}$  - жоғарғы температуралар кезіндегі иілгіштік шегіндегі деформация;

$\varepsilon_{y,\theta}$  - жоғарғы температуралар кезіндегі аққыштық шегіндегі деформация;

$\varepsilon_{t,\theta}$  - жоғарғы температуралар кезіндегі аққыштық шегіндегі шектік деформация;

$\varepsilon_{u,\theta}$  - жоғарғы температуралар кезіндегі шектік деформация.



### 8.6 Суреті – Механикалық орнығуды ескеретін жоғарғы температуралар кезіндегі көміртекті болатқа арналған кернеу – ұзындық тәуелділігі

Егер жергілікті немесе ғаламдық тұрақтылық алдын ала тоқтап қалуға әселмесе (8.7 Суретті қараңыз),  $400^{\circ}\text{C}$  – тан төмен болат температуралар үшін механикалық ортықтылықты қамтуы үшін кернеу – ұзындық тәуелділігін бұдан әрі 1993-1-2 ҚР ҚН EN кеңейтеді. Бұл жағдайда 8.6 Суретінде келтірілген математикалық формулалар келесі түрде өзгертілуі тиіс:

- егер  $0,02 < \varepsilon < 0,04$  болса:

$$\sigma_a = 50 \cdot (f_{u,\theta} - f_{y,\theta}) \cdot \varepsilon + 2 \cdot f_{y,\theta} - f_{u,\theta}$$

- егер  $0,04 \leq \varepsilon \leq 0,15$  болса:

$$\sigma_a = f_{u,\theta}$$

- егер  $0,15 < \varepsilon < 0,20$  болса:

$$\sigma_a = f_{u,\theta} \cdot [1 - 20 \cdot (\varepsilon - 0,15)]$$

- егер  $\varepsilon \geq 0,20$  болса:

$$\sigma_a = 0,0$$

мұндағы  $f_{u,\theta}$  механикалық орнығуды ескергендегі жоғарғы температуралар кезіндегі мықтылық шегі.  $f_{u,\theta}$  механикалық орнығуды ескергендегі жоғарғы температуралар кезіндегі мықтылық шегі келесідей анықталады:

Егер  $\theta_a < 300^{\circ}\text{C}$  болса:

$$f_{u,\theta} = 1,25 \cdot f_{y,\theta}$$

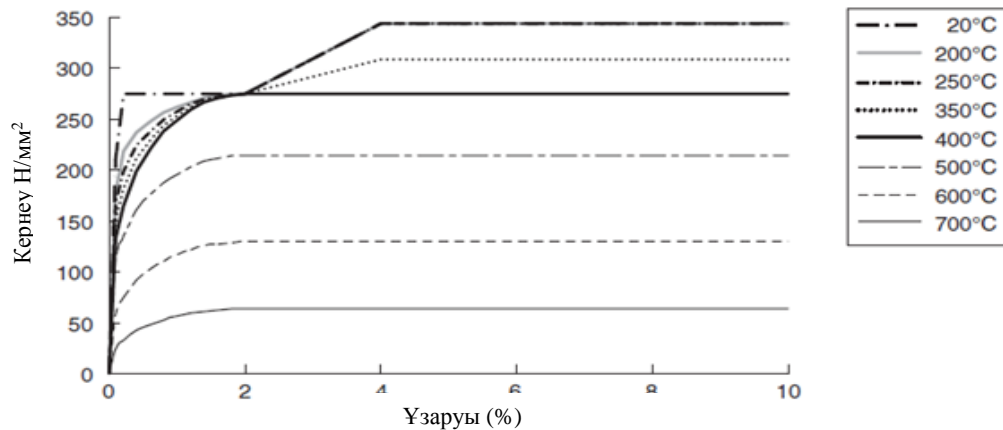
Егер  $300^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 400^{\circ}\text{C}$  болса:

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta} \cdot (2 - 0,0025 \cdot \theta_a)$$

Егер  $\theta_a \geq 400^{\circ}\text{C}$  болса:

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta}$$

8.7 Суреті механикалық орнығуды ескергендегі жоғарғы температуралар кезіндегі S275 болатына арналған кернеу – ұзару тәуелділігін көрсетеді.



**8.7 Сурет – Механикалық орнығуды ескретін жоғарғы температуралар кезіндегі S275 болатқа арналған кернеу – ұзындық тәуелділігі**

### 8.2.3 Тот баспайтын болат

#### 8.2.3.1 Жалпы ережелер

Тот баспайтын болат коррозияға тұрақты және қызуға төзімді құрамында темір бар материалдардың кең диапазонын қамтиды, осындай материалдардың құрамында кем деген 10% хром, максимум көміртек – 1,2% және басқада қосындыланған элементтер кіреді. Тот баспайтын болаттың негізгі бес тобы бар, ол олардың металлургиялық құрамы бойынша жіктелген, атап айтқанда аутенитті, ферритті, мартенситті, дуплексті және дисперсті – қатаюшы топтар. Аустенитті және дуплексті тот баспайтын болаттар өздерінің жақсы пісірілу қасиеттеріне байланысты ғимарттар мен құрылыстар жобалауына кең түрде қолданылады.

1993-1-2 ҚР ҚН EN–ң С Қосымшасында 1.4301, 1.4401, 1.4571, 1.4003 және 1.4462 маркалы тот баспайтын болаттардың жоғарғы температуралар кезіндегі материалдарының қасиеттері берілген. Тот баспайтын болаттардың басқа маркаларына механикалық қасиеттерді ыстыктегістелген көміртекті болатқа ұқсастырып алуға болады деп болжалған, бірақ олардың жылулық көрсеткіштері тот баспайтын болаттағыдай қалады деп болжалған.

#### 8.2.3.2 Жылу қасиеттері

Тот баспайтын болаттың жылу қасиеттері көміртекті болаттың қасиеттерінен қатты өзгеше болып келеді. Негізгі ерекшеліктер келесідей:

- көміртекті болатпен салыстырғанда тот баспайтын болаттың жылулық кеңею дәрежесі 1200°C дейін салыстырмалы түрде тұрақты болып қала береді, себебі тот баспайтын болатта фазалық өзгеру құбылысы жүрілмейді.

- тот баспайтын болаттың жылулық кеңею шама мәні көміртекті болаттан көп.

- тот баспайтын болаттың салыстырмалы жылу сиымдылығы көміртекті болатпен салыстырғанда жоғарғы температуралар кезінде көп өспейді, себебі 730°C температурада

көміртекті болаттағы феррит–перлит аустенитке химиялық түрде алмасуы кезінде оның салыстырмалы жылу сиымдылығы күрт жоғарлайды.

- қалыпты температура кезінде тот баспайтын болаттың жылу өткізгіштігі көміртекті болатпен салыстырғанда көп төмен болады. Бірақ, тот баспайтын болаттың жылу өткізгіштігі температура жоғарлаған сайын өседі және 1000°C жоғары температурада оның мәні көміртекті болаттың жылу өткізгіштігінен жоғары болады.

Аутенитті тот баспайтын болаттың жылулық ұзаруын  $\Delta l/l$  келесі формула бойынша анықтауға болады:

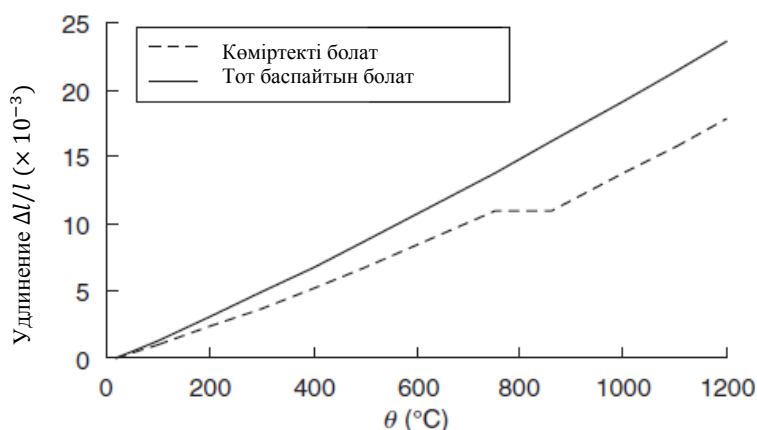
$$\Delta l/l = (16 + 4,76 \times 10^{-3} \cdot \theta_a - 1,243 \times 10^{-6} \cdot \theta_a^2) \cdot (\theta_a - 20) \cdot 10^{-6} \quad (8.4)$$

мұндағы  $l$  - қалыпты температура кезіндегі тот баспайтын болаттан жасалған элементтің ұзындығы;

$\Delta l$  - тот баспайтын болаттан жасалған элементтік температуралық ұзаруы;

$\theta_a$  - болаттың температурасы (°C).

Температураға байланысты жылулық ұзарудың өзгерісі 8.8 Суретінде көрсетілген.



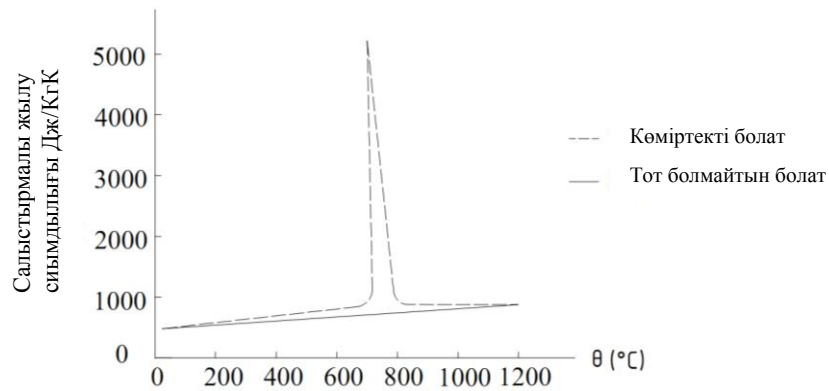
**8.8 Сурет – Тот баспайтын болаттың жылулық ұзаруы температураның функциясы ретінде**

Тот баспайтын болаттың салыстырмалы жылу сиымдылығын  $c_a$  (Дж/кгК) келесі формула бойынша анықтауға болады:

$$c_a = 450 + 0,28 \cdot \theta_a - 2,91 \times 10^{-4} \cdot \theta_a^2 + 1,34 \times 10^{-7} \cdot \theta_a^3 \quad (8.5)$$

Температураға байланысты салыстырмалы жылу сиымдылығының өзгеруі 8.9 Суретінде берілген.



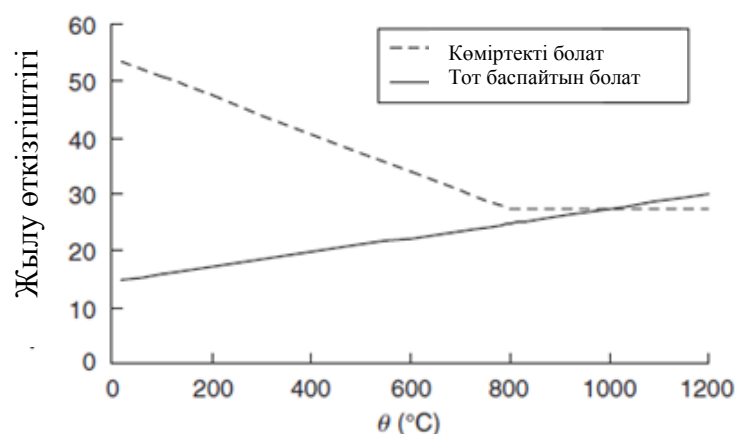


**8.9 Сурет – Тот баспайтын болаттың салыстырмалы жылу сиымдылығы температураның функциясы ретінде**

Тот баспайтын болаттың жылу өткізгіштігін  $\lambda_a$  (Вт/мК) келесідей анықтауға болады:

$$\lambda_a = 14,6 + 1,27 \times 10^{-2} \cdot \theta_a \quad (8.6)$$

Температураға байланысты жылу өткізгіштіктің өзгеруі 8.10 Суретінде көрсетілген.



**8.10 Сурет – Тот баспайтын болаттың жылу өткізгіштігі температураның функциясы ретінде**

### 8.2.3.3 Механикалық қасиеттер

Жоғарғы температуралар кезіндегі тот баспайтын болатқа арналған кернеу – ұзындық тәуелділігі 1993-1-2 ҚР ҚН EN–де берілген, және оны 2 және 50 К/мин аралығындағы қыздыру жылдамдығына қолданады. Толық математикалық формулалар 8.11 Суретінде келтірілген.

### 8.3 Сурет – Жоғарғы температуралар кезіндегі тот баспайтын болаттарға арналған кернеу – ұзындық тәуелділігі

Деформация шектері	Кернеу $\sigma$	Жана модуль $E_t$
$\varepsilon \leq \varepsilon_{c,\theta}$	$\frac{E\varepsilon}{1 + a \cdot \varepsilon^b}$	$\frac{E \cdot (1 + a \cdot \varepsilon^b - a \cdot b \cdot \varepsilon^b)}{(1 + a \cdot \varepsilon^b)^2}$
$\varepsilon_{c,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{u,\theta}$	$f_{0.2p,\theta} - e + \frac{d}{c} \sqrt{c^2 - (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon)^2}$	$\frac{d + (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon)}{c \cdot \sqrt{c^2 - (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon)^2}}$

ЕСКЕРТПЕ 1  $\varepsilon_{c,\theta}$  көрсеткіштер келесі формуламен анықталады:

$$\varepsilon_{c,\theta} = f_{0.2p,\theta} / E_{a,\theta} + 0.02$$

ЕСКЕРТПЕ 2 a, b және c функциялары келесі формулалармен анықталады:

$$a = \frac{E_{a,\theta} \cdot \varepsilon_{c,\theta} - f_{0.2p,\theta}}{f_{0.2p,\theta} \cdot \varepsilon_{c,\theta}^b} \quad b = \frac{(1 - \varepsilon_{c,\theta} \cdot E_{ct,\theta} / f_{0.2p,\theta}) \cdot E_{a,\theta} \cdot \varepsilon_{c,\theta}}{(E_{a,\theta} \cdot \varepsilon_{c,\theta} / f_{0.2p,\theta} - 1) \cdot f_{0.2p,\theta}}$$

$$c^2 = (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta}) \cdot \left( \varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta} + \frac{e}{E_{ct,\theta}} \right)$$

$$d^2 = e \cdot (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta}) \cdot E_{ct,\theta} + e^2$$

$$e = \frac{(f_{u,\theta} - f_{0.2p,\theta})^2}{(\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta}) \cdot E_{ct,\theta} - 2 \cdot (f_{u,\theta} - f_{0.2p,\theta})}$$

ЕСКЕРТПЕ 3 8.3 кестесінде қолданылатын рәміздер:

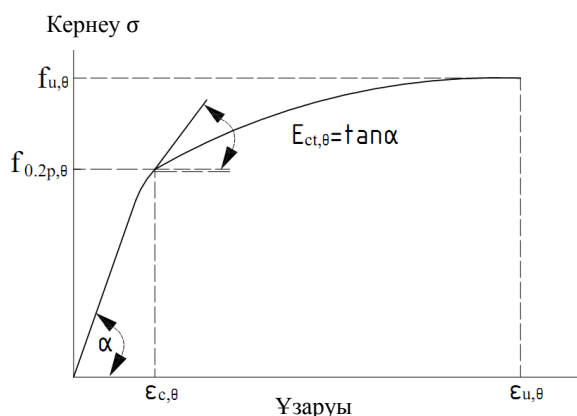
$f_{0.2p,\theta}$  - мықтылық шегі;

$E_{a,\theta}$  - 0,2 % пластикалық деформация мықтылығының шартты шегі;

$E_{ct,\theta}$  - иілгіштік модулі;

$\varepsilon_{c,\theta}$  - аққыштықтың шартты шегінің иілуі;

$\varepsilon_{u,\theta}$  - аққыштықтың шарты шегіне сәйкес келетін толық деформация.



### 8.11 Сурет - Жоғарғы температуралар кезіндегі тот баспайтын болатқа ұзаруы-кернеудің тәуелділігі

1993-1-2 ҚР ҚН EN–ң С Қосымшасы төмендетуші коэффициенттерді 20°C–та сәйкес келетін мәндерге байланысты береді, ал жоғарғы температуралар кезіндегі бірнеше тот баспайтын болат маркаларының кернеу – ұзындық тәуелділігі үшін келесідей:

- 20°C кезіндегі иілгіштік модуліне байланысты иілгіштік модулі: Модуль  $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$

- 20°C кезіндегі аққыштық шегіне байланысты мықтылықтың шартты шегі:  $k_{p0.2,\theta} = f_{0.2p,\theta}/f_y$

- 20°C кезіндегі мықтылық шегіне байланысты мықтылық шегі:  $k_{u,\theta} = f_{u,\theta}/f_u$

Бұдан басқа, қарапайым есептеп шығару әдістерінде қолдану үшін аққыштық шегіне  $k_{2\%,\theta}$  арналған түзету коэффициенті Стандартта берілген. Қарапайым есептеп шығару әдістерінде қолданылатын аққыштықтың «тиімді» шегінің мәні мықтылықтың шартты шегі  $f_{0.2p,\theta}$  мен созылу мықтылығы шегі  $f_u$  мәндерінің арасында болуы тиіс деп болжалған:

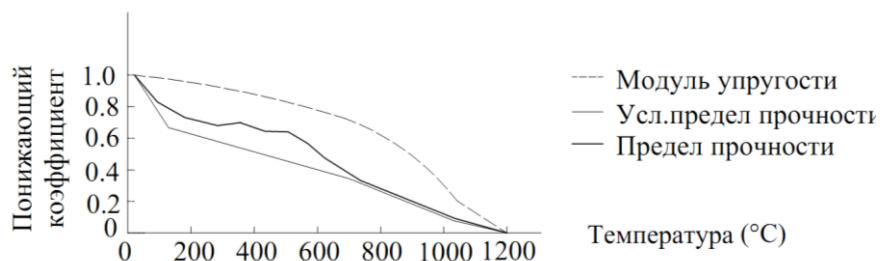
$$f_{y,\theta} = f_{0.2p,\theta} + k_{2\%,\theta} \cdot (f_{u,\theta} - f_{0.2p,\theta}) \quad (8.7)$$

мұндағы тот баспайтын болаттың әр түрлі маркаларына арналған  $k_{2\%,\theta}$  0,19 пен 0,47 аралығында 1993-1-2 ҚР ҚН EN–ң С Қосымшасында берілген.

8.4 Кестесі және 8.12 Суреті тот баспайтын болаттың 1.4301 маркасына арналған жоғарыда аталған төмендетуші коэффициенттердің өзгеруін көрсетеді. 1993-1-2 ҚР ҚН EN–ң С Қосымшасы тот баспайтын болаттың басқа маркаларына арналған мәндерді қамтамасыз етеді.

**8.4 Кесте – Жоғарғы температуралар кезіндегі тот баспайтын болат 1.4301 маркасының кернеу – ұзындық тәуелділігі**

$\theta_a$ (°C)	$E_{a,\theta}/E_a$	$f_{p0.2,\theta}/f_y$	$f_{u,\theta}/f_u$	$k_{2\%,\theta}$
20	1,00	1,00	1,00	0,26
100	0,96	0,82	0,87	0,24
200	0,92	0,68	0,77	0,19
300	0,88	0,64	0,73	0,19
400	0,84	0,60	0,72	0,19
500	0,80	0,54	0,67	0,19
600	0,76	0,49	0,58	0,22
700	0,71	0,40	0,43	0,26
800	0,63	0,27	0,27	0,35
900	0,45	0,14	0,15	0,38
1000	0,20	0,06	0,07	0,40
1100	0,10	0,03	0,03	0,40
1200	0,00	0,00	0,00	0,40



## 8.12 Сурет – Жоғарғы температуралар кезіндегі тот баспайтын болат 1.4301 маркасының кернеу – ұзындық тәуелділігіне арналған төмендетуші коэффициенттер

### 8.2.4 Жұқа қабырғалы болат

#### 8.2.4.1 Жалпы ережелер

Жұқа қабырғалы болат профильдер көптеген түрлі кесік және фасон беттер етінде өндіріледі. Дәстүр бойынша, құрылыста қалыпты қолданылатын кесіктер – суықпен формаланған ‘C’ немесе Z’ формалы болады, олар шатырлардың торлары ретінде және өнеркәсіптік ғимараттарда өңдеуді қатайтуға қолданылады. Кейіннен жұқа қабырғалы қиықтар болат рамалар, фермалар, қалқандар, тосқауылдар, еден көкшолақтары және сақтау стеллаждары ретінде кеңінен қолданылатын болды.

Жұқа қабырғалы қиықтардың негізгі артықшылығы – қалыпты температура кезінде мықтылықтың салмаққа деген жоғарғы қатынасы. Суық формаланған қиықтар үшін металлды суық өңдеу үрдісінен туындаған механикалық қатаю материалдардың аққыштық шегі мен мықтылық шегін көбейтеді. Бірақ бұл ерекшеліктер өрттің әсері кезінде оларды осал етеді. Жұқа қабырғалы қиықтардың отқа төзімділігі жоғары емес, жоғарғы қиық коэффициенттері себебінен оларға тура өртпен әсер етсе, олар тез қызады. Механикалық қатайтудан болаған механикалық қатаюдың көбеюі қыздыру кезінде тез жоғалып кетеді.

#### 8.2.4.2 Жылулық қасиеттері

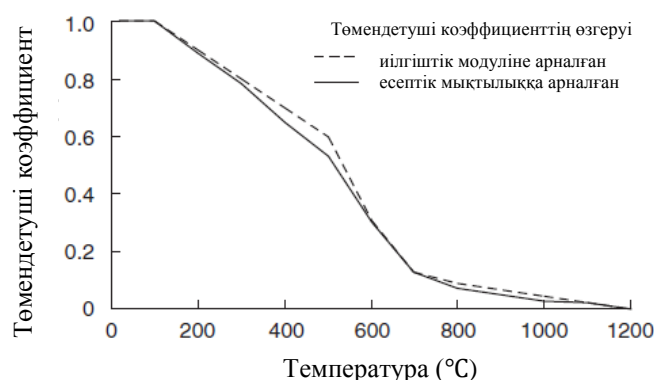
Жұқа қабырғалы болаттың жылулық қасиеттері, алдында болжалғандай ыстықтегістелген болаттың жылулық қасиеттеріне ұқсас.

#### 8.2.4.3 Механикалық қасиеттері

1993-1-2 ҚР ҚН EN – ң C Қосымшасында 8.3 Кесте мен 8.14 Суретінде көрсетілгендей жоғарғы температуралар кезіндегі көміртекті болаттан жасалған 4 Класс қиығының есептік мықтылығы мен иілгіштік модуліне арналған төмендетуші коэффициенттер келтірілген, оларды жұқа қабырғалы қиықтар үшін қолдануға болады.

**8.5 Кесте – Жоғарғы температуралар кезіндегі 4 класс қиығына арналған көміртекті болатқа арналған төмендетуші коэффициентер**

Болаттың температурасы $\theta_a(^{\circ}\text{C})$	Есептік мықтылыққа арналған төмендетуші коэффициент $k_{p0.2,\theta}$	Иілгіштік модуліне арналған төмендетуші коэффициент $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20	1,00	1,00
100	1,00	1,00
200	0,89	0,90
300	0,78	0,80
400	0,65	0,70
500	0,53	0,60
600	0,30	0,31
700	0,13	0,13
800	0,07	0,09
900	0,05	0,07
1000	0,03	0,05
1100	0,02	0,02
1200	0,00	0,00



**8.13 Сурет – Жоғарғы температуралар кезіндегі суық формаланған болаттарға арналған мықтылықты төмендету коэффициенттері**

Оңай болуы үшін 1993-1-2 ҚР ҚН EN консервативті түрде мықтылықтың шартты шегін 0,2 % жоғарғы температуралар кезіндегі 4 класс болат профилдері үшін аққыштықтың есептік шегі ретінде алады. Ыстыктегістелген және пісірілген жұқа қабырғалы қиықтар үшін есептік мықтылықты төмендетуші коэффициенті  $k_{p0.2,\theta}$  20°C кезіндегі аққыштықтың шегіне  $f_y$  байланысты алынған және келесідей анықталады:

$$k_{p0.2,\theta} = f_{p0.2,\theta} / f_y$$

мұндағы  $f_{p0.2,\theta}$  — болаттың  $\theta_a$  температурасы кезіндегі мықтылықтың шартты шегі 0.2% аққыштықтың тиімді мәні ретінде.

Есептік мықтылыққа арналған  $k_{p0.2,\theta}$  суық формаланған жұқа қабырғалы қиықтар үшін төмендетуші коэффициент 20°C кезіндегі негізгі аққыштықтың шегіне  $f_{yb}$  байланысты қабылданған және келесі формуламен анықталған:

$$k_{p0.2,\theta} = \frac{f_{p0.2,\theta}}{f_{yb}}$$

мұндағы  $f_{yb}$  – 1993-1-3 ҚР ҚН EN–де берілген аққыштықтың негізгі шегі.

Иілгіштік модуліне арналған төмендетуші коэффициенті, болжалғандайғ көміртекгі болатқа арналғанмен ұқсас.

### 8.3 Бұрандалар мен пісірілген тігістер

1993-1-2 ҚР ҚН EN–ң D Қосымшасында бұрандалар мен пісірілген тігістердің өрті кезіндегі олардың тәртіптері туралы шектеулі ақпарат келтірілген, оның ішінде көршілес арқалыққа байланысты ауыспалы температурасы бар механикалық қасиеттер көрсетілген.

Сынақтың шектеулі санына негізделген Стандарт, бұранданың типіне қарамастан жылжу мен созуға жұмыстайтын бұрандаларға арналған  $k_{b,\theta}$  бірыңғай төмендетуші коэффициентті тағайындайды. Фрикционды бұрандалар үшін, бұрандалар өрт кезінде қозғалады деп, және бір бұранданың отқа төзімділігі жылжуға да әне сығуға да жобалана алады деп болжалған.

Өрт кезіндегі бұранданың есептік салмақ көтеру қабілеттілігін келесідей анытау қажет:

Қозғалудағы салмақ көтеру қабілеттігі:

$$F_{v,t,Rd} = F_{v,Rd} \cdot k_{b,\theta} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}}$$

Жапырудағы салмақ көтеру қабілеттігі:

$$F_{b,t,Rd} = F_{b,Rd} \cdot k_{b,\theta} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}}$$

Созылудағы салмақ көтеру қабілеттігі:

$$F_{ten,t,Rd} = F_{t,Rd} \cdot k_{b,\theta} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}}$$

мұндағы

$F_{b,Rd}$  - 1993-1-8 ҚР ҚН EN сәйкес жапырудағы есептік салмақ көтеру қабілеттігі;

$F_{t,Rd}$  - 1993-1-8 ҚР ҚН EN сәйкес созылудағы есептік салмақ көтеру қабілеттігі;

$F_{v,Rd}$  - 1993-1-8 ҚР ҚН EN сәйкес қозғалудағы есептік салмақ көтеру қабілеттігі;

$k_{b,\theta}$  - 8.7 Кестедегі бұранданың сәйкес температурасына арналған төмендетуші коэффициент;

$\gamma_{M2}$ - қалыпты температура кезіндегі сенімділік коэффициенті;

$\gamma_{M,fi}$  – өрт шарттарына арналған сенімділік коэффициенті.

8.15 Суретінде көрсетілген мықтылықтың төмендету коэффициентінің өзгеруі.

#### 8.4 Кесте – Бұрандалар мен пісірілген тігістерге арналған мықтылықты төмендету коэффициенттері

Температура $\theta(^{\circ}\text{C})$	Қозғалу мен созылуға жұмыстайтын бұрандалар $k_{b,\theta}$	Бұрыштық пісірілген тігістер $k_{w,\theta}$	Қабыстыру пісірілген тігістер $k_{w,\theta}$
20	1,000	1,000	1,000
100	0,968	1,000	1,000
200	0,935	1,000	1,000
300	0,903	1,000	1,000
400	0,775	0,876	1,000
500	0,550	0,627	0,780
600	0,220	0,379	0,470
700	0,100	0,130	0,230
800	0,067	0,074	0,074
900	0,033	0,018	0,018
1000	0,000	0,000	0,000

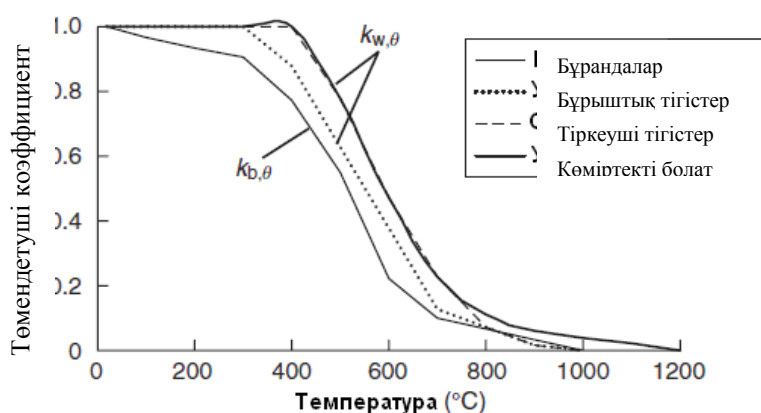
Бұрыштық пісірілген тігістің бірлік ұзындығына келетін есептік салмақ көтеру қабілеттігі өрт кезінде келесі формула бойынша анықтау қажет:

$$F_{w,t,Rd} = F_{w,Rd} \cdot k_{w,\theta} \cdot \frac{Y_{M2}}{Y_{Mfi}}$$

мұндағы  $F_{w,Rd}$  - 1993-1-8 ҚР ҚН ЕН сәйкес бұрыштық пісірілген тігістің бірлік ұзындығына келетін салмақ көтеру қабілеттігі;

$k_{w,\theta}$  - 8.7 Кестесіндегі пісірілген тігістің сәйкес келетін температурасына арналған төмендетуші коэффициент болып табылады.

Мықтылықты төмендету коэффициентінің өзгеруі 8.15 Суретінде көрсетілген. Бұрыштық пісірілген тігістер өрт кезінде бұрандалардан жақсы ұмыстайды деп есептеледі, бірақ бұрандалар мықтылығын төмен сақтайды.



8.14 Сурет – Жоғарғы температурадағы бұрандалар мен пісірілген тігістерге арналған мықтылықты төмендету коэффициенттері

## 9 СОЗЫЛҒАН ЭЛЕМЕНТТЕРДІ ЕСЕПТЕУ

### 9.1 Жалпы ережелер

9.1.1 Бұл бөлімде созылған болат элементтерді есептеу бойынша кеңес берілген. Созылған элементтер көптеген құрылыс конструкцияларында қолданылады, олардың кейбірі төменде көрсетілген. .

- Қарапайым бұрыштар, тройниктер, каналдар мен конструктивті қуыс профилдер еңіл және арқалық фермаларда қолданылады.

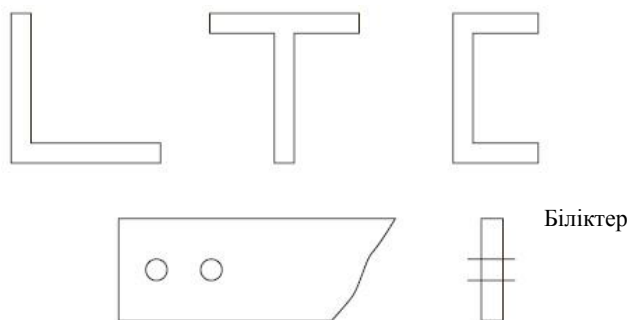
- Қарапайым қималар, екі бұрыштан немесе каналдардан және біліктер мен сызықтардан тұратын құраушы қималар ғимараттағы байланыс элементтері ретінде қолданылады.

- Ванталар мен арқандар, аспалы көпірлердің магистралды кабельдері мен көтеруші арқандары ретінде және аспалы конструкциялар мен аспалы көпірлердің төсемі ретінде қолданылады.

- Ауыр тегістелген профильдер, ауыр құрамды екітаңбалы және қораб тәрізді қималар аспалы конструкциялардағы аспалар ретінде қолданылады.

Қиманың қалыпты түрлері және ғимараттар мен көпірлерде қолданылатын созылған элементтердің мысалы 9.1 және 9.2 Суреттерінде көрсетілген.

9.1.2 1993 ҚР ҚН EN: 1.2 Бөлімінде созылу кезінде болат элементтедің отқа төзімділіген бағалаудың екі әдісіне рұқсат берген. Біріншісі, «есептік салмақ көтеру қабілеттігі» деп алатынын әдіс, элементтің есептік салмақ көтеру қабілеттілігін есептеуден тұрады, және элементтің көлденең қимасы бойынша температураның бөлінуіне, көлденең қима ауданына және жоғары температура кезінде материалдың төмендетілген қасиеттеріне негізделген. Екіншісі, «критикалық температура» әдісі деп аталады, элементтің тоқтап қалуына әкелетін температураны есептеуден тұрады, және температураның біркелкі таралуы мен есептелген пайдалану коэффициентін ескереді. Екі әдісте келесі тармақтарда сипатталған.



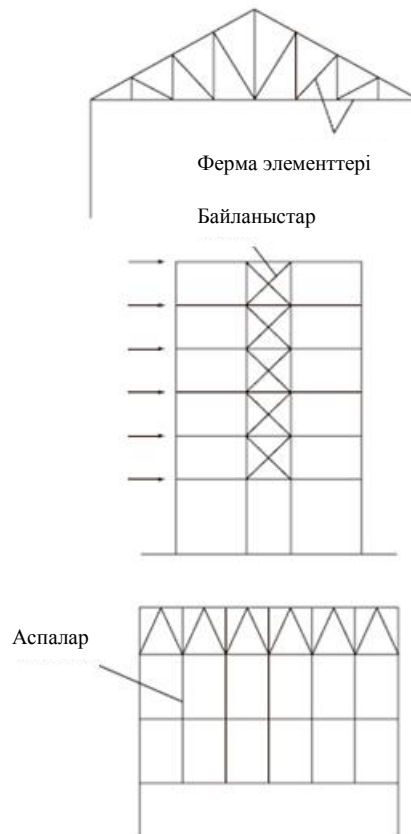
9.1 Сурет – Созылған элементтер ретінде қолданылатын қарапайым қималар



## 9.2 Есептік салмақ көтере алу қабілеттік әдісі

### 9.2.1 Жалпы ережелер

1993 ҚР ҚН EN: 1.2 Бөлімінде жоғарғы температурада созылған элементтің есептік салмақ көтеру қабілеттігін есептеуге арналған екі әдісі бар. Бірінші әдісін көлденең қима бойынша біркелкі емес таралған температурасы бар созылған элементке қолдануға болады, ал екіншісін керісінше біркелкі таралған температурасы бар элементке қолданады.



### 9.2 Сурет – Ғимараттар мен көпірлердегі созылған элементтер

Көлденең қимасы бойынша біркелкі емес таралған температурасы бар созылған элементтің есептік салмақ көтеру қабілеттігіне балама ретінде, консервативті түрде біркелкі таралған температурасы бар созылған элементтің есептік салмақ көтеру қабілеттігіне тең етіп алуға болады, бірақ бұл жағдайда ол біркелкі емес таралған температурасы бар қимадағы максималды температураға тең болуы тиіс.

### 9.2.2 Температураның біркелкі емес таралауы

1993 ҚР ҚН EN: 1.2 Бөлімі көлденең қимасы бойынша біркелкі емес таралған температурасы бар созылған элементтің есептік салмақ көтеру қабілеттігін  $N_{fi,t,Rd,t}$  уақытында, келесі формула бойынша есептейді:

$$N_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot k_{y,\theta,i} \cdot f_y / \gamma_{M,fi} \quad (9.1)$$

мұндағы  $A_i$  -  $\theta_i$  температурасы бар көлденең қиманың бірлік ауданы;

$k_{y,\theta,i}$  -  $\theta_i$  температурасы бар болаттан аққыштың шегіне арналған төмендетуші коэффициент;

$\theta_i$  -  $A_i$  бірлік ауданындағы температура;

$f_y$  - 20°C кезіндегі аққыштық шегі;

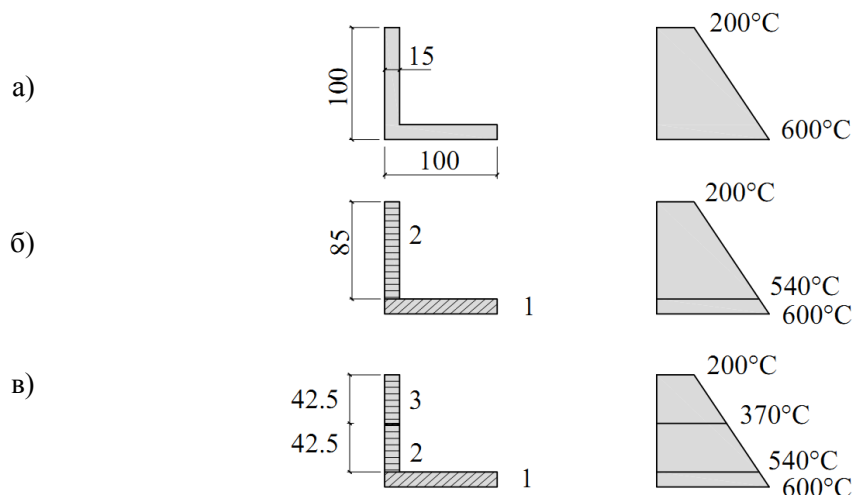
$\gamma_{M,fi}$  - өрт кезіндегі жағдайға арналға материалдың сәйкес келетін қасиеттеріне арналған сенімділік коэффициенті.

Бұл әдісте көлденең қима көптеген дискретті элементтерге бөлінеді және әр бір элемент үшін өзінің ауданы, температурасы, төмендетуші коэффициенті және аққыштық шегі бар. Жоғарыда көрсетілген теңдеулер толық көлденең қиманың жалпы салмақ көтеру қабілеттігін алу үшін бөлек элементтердің әр қайсысының салмақ көтеру қабілеттігінің қосындысын шығарады. Бөлудің қайсы бір ыңғайлысын қолдануға болады, бірақ нақты нәтижелер алу үшін көлденең қима шамамен біркелкі температуралық аралуы бар элементтерге бөлінуі тиіс. Элементтің облысы бойынша температураның таралуы өзгертін болса, онда ең жоғарғы температура қабылдануы тиіс.

3 МЫСАЛ Тегіс полкалы бұрыштың созылуындағы салмақ көтеру қабілеттігі

1) Бастапқы деректер

9.3 (а) Суретінде көрсетілген, созылған элементтің созылуындағы салмақ көтеру қабілеттігін есептеу қажет. Көлденең қима бойынша температураның таралуы біркелкі емес және сызық бойынша бұрыштың негізінде 600°C – тен бастап басында 200°C – ге дейін өзгереді.



(а) температураның біркелкі емес таралуы; (б) әр полкадағы максималды температура; (в) вертикалды полканың бөлінуі. (Барлық өлшемдер миллиметр бойынша көрсетілген)

### 9.3 Сурет – Температураның біркелкі емес таралу әсерінен элементтің созылуы

Қиманы өлшемі және материалдың қасиеті

- қима өлшемі: 100 × 100 × 15 мм (тегіс полкалы бұрыш)

- болат маркасы: S275

2) Есептеу үрдісі

9.3 (b) Суретінде көрсетілгендей, бұрышты ыңғайлы түрде вертикалды және горизонталды полкаларға бөлуге болады. Бұл элементтердің әр қайсысындағы максималды температура сәйкесінше 600°C және 540°C.

1 элементтің созылуындағы салмақ көтеру қабілеттігін келесі ормула бойынша анықтауға болады:

$$N_{fi,t,Rd,1} = A_1 \cdot k_{y,\theta,1} \cdot f_{y1} / \gamma_{M,fi,1}$$

1 нөмірлі элемент үшін  $A_1$ ,  $k_{y,\theta,1}$ ,  $f_{y1}$  және  $\gamma_{M,fi,1}$  мәндерін алмастыра отырып оның созылудағы салмақ көтеру қабілеттігін есептейміз:

$$N_{fi,t,Rd,1} = 100 \times 15 \times 0,470 \times 275 / 1,0 / 1000 = 193,9 \text{ кН}$$

2 нөмірлі элементтің созылудағы салмақ көтеру қабілеттігін де осы әдіс арқылы анықтауға болады және ол 241 кН тең болады. Элементтің созылуындағы салмақ көтеру қабілеттігін осы екі элементтің әр қайсысының салмақ көтеру қабілеттіктерін қосу арқылы табуға болады:

$$N_{fi,t,Rd} = N_{fi,t,Rd,1} + N_{fi,t,Rd,2}$$

Осы элементтің созылуындағы есептік салмақ көтеру қабілеттігі:

$$N_{fi,t,Rd} = 193,9 + 241 = 435 \text{ кН}$$

Элементтің созылуындағы есептік салмақ көтеру қабілеттігін нақтырақ бағалауды, баламалы түрде 9.3 (c) Суретінде көрсетілгендей, бұрыштың вертикалды полкасын екі элементке бөлу арқылы анықтауға болады, сонымен көлденең қима үш элементке бөлінеді. 1, 2 және 3 элементтердің максималды температуралары, сәйкесінде 600°C, 540°C және 370°C. Жоғарыдағы әдістемені қолдана отырып, элементтердің созылудағы жаңа салмақ көтеру қабілеттігі – 490 кН болатындығын оңай анықтауға болады. Бұл бұрынғыдан 12%-ға артық.

### 9.2.3 Температураның біркелкі таралуы

1993-1-2 ҚР ҚН EN көлденең қимасы бойынша біркелкі таралған температурасы  $\theta_a$  бар созылған элементтің есептік салмақ көтеру қабілеттігін  $N_{fi,t,Rd}$  келесі формула бойынша анықтайды:

$$N_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} \cdot N_{Rd} \cdot (\gamma_{M,1} / \gamma_{M,2}) \quad (9.2)$$

мұндағы  $k_{y,\theta}$  -  $\theta_i$  температурасындағы болаттың аққыштық шегіне арналған төмендеуші коэффициент;

$N_{Rd}$  - 1993-1-1 ҚР ҚН EN сәйкес, қалыпты температурадағы есепке арналған, көлденең қиманың есептік салмақ көтеру қабілеттігі  $N_{pl,Rd}$ .

Бұл әдіс 1993 ҚР ҚН EN бойынша есептелген, қалыпты температурада созылған элементтерге арналған есептік әдіске негізделген: 1.1 Бөлімі, бірақ төмендетуші коэффициентті  $k_{y,\theta}$ , жоғары температура кезінде материал қасиеттерінің төмендеуін ескеру үшін енгізеді. Бірақ осы әдіс пен қалыпты температура кезіндегі есептерге қолданатын әдіс арасында бір негізгі айырмашылық бар, бұл нетто қиманың ауданында элементтің тәртібіне байланысты. Өрт жағдайында, бұранданың ойығында, егер ол ойық бұрандамен толтырылған болса, ойықтың айналасындағы қиық элементтің басқа бөлігі сияқты белгілі бір дәрежеге дейін қыздырылмайды деген болжалған. Себебі, жылудың

жергілікті саны бұrandаның болуынан болып көбейеді. Осыдан келесідей тұжырым шығаруға болады, нетто қиық ауданында элементтің салмақ көтеру қабілеттігін жоғарлату үшін брутто қима ауданының қасиеттерін нетте қиық ауданы қасиеттерінің орнына қолдануға болушы еді.

### 9.3 Критикалық температура әдісі

9.3.1 Температурасы біркелкі таралған,  $t$  уақытында созылған болат элементке арналған  $\theta_{a,cr}$  критикалық температура, осы температура кезінде элементтің салмақ көтеру қабілеттігі жүктелген жүктеме көлеміне дейін төмендейтін температура болып табылады. 1993 ҚР ҚН EN – де критикалық температура қандайда болсын қолдану козициенті үшін келесі бойынша анықталады:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \cdot \ln \cdot \left[ \frac{1}{0,9674\mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482 \quad (9.3)$$

мұндағы  $\mu_0$  – элементтегі қолдану коэффиценті және келесі формула бойынша есептеледі:

$$\mu_0 = E_{fi,d}/R_{fi,d,0} \quad (9.4)$$

мұндағы  $R_{fi,d,0} - t = 0$  уақытына арналған  $R_{fi,d,t}$  мәні (яғни қалыпты температурада);

$R_{fi,d,t}$  - осы құралдың 5 бөлімі бойынша есептеледі;

$E_{fi,d}$  - осы құралдың 5 бөлімі бойынша есептеледі.

9.3.2 Қолдану коэффицентін өрт кезіндегі шекті жағдайда жүктелген жүктеме көлемін ( $E_{fi,d}$ ) бөлме температурасы кезіндегі элементтің салмақ көтеру қабілеттігіне ( $R_{fi,d,0}$ ) қатынастыра отырып анықтауға болады.  $t = 0$  кезіндегі созылған элементтерге арналған салмақ көтеру қабілеттігін оның бөлме температурасы кезіндегі салмақ көтеру қабілеттігіндей етіп алуға болады. Қалыпты температура кезіндегі созылған элементтің салмақ көтеру қабілеттігін 1993 ҚР ҚН EN – де көрсетілген мәндерге сәйкес анықтауға болады: 1.1 Бөлімі.

#### 9.1 Кесте – 1993 ҚР ҚН EN – дегі коитикалық температура әдісі бойынша есептеу

Әдіс	Қолдану кезіндегі критикалық/шектік температуралар (жүктеменің қатынасы):					
	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
1993 ҚР ҚН EN	526	554	585	620	664	725

9.3.3 Созылған элементтер үшін, балама ретінде  $\mu_0$  – ді консервативті түрде келесі формцламен анықтуға болады:

$$\mu_0 = \eta_{fi} \cdot (\gamma_{M,fi}/\gamma_{M,1}) \quad (9.5)$$

мұндағы  $\eta_{fi}$  - осы құралдың 5 бөлімінде есептелген төмендетуші коэффицент.

9.3.4 Бұл әдіс элемент қалыпты жағдайларда толық мықтылыққа жобаланған деп

болжайды, және сондықтан қолдану коэффициентін өрт кезіндегі шекті жағдайда жүктелген жүктемені қалыпты жағдайлардағы критикалық есептік жүктемелерге қатынастыра отырып анықтауға болады. Егер конструкция тұрақты жүктеме (G) мен уақытша жүктеме (Q) комбинациясына душар болса қолдану коэффициентін келесі формула бойынша анықтауға болады:

$$\mu_0 = \frac{G + \psi \cdot Q}{1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q} (\gamma_{M,fi} / \gamma_{M,1})$$

мұндағы  $\psi$  – уақытша жүктеме кезіндегі үйлесу коэффициенті.

#### 4 МЫСАЛ Критикалық температураны есептеу

##### 1) Бастапқы деректер

Бұл мысалда өткен мысалдағы қарапайым бұрышқа арналған критикалық температураны есептеуді, мұнда 500 кН көлемінде жүктеме жүктелген деп қабылданған.

##### 2) Шешімі

$t = 0$  уақытында созылудағы салмақ көтеру қабілеттігі  $R_{fi,d,0} = 2800 \times 275/1000 = 770$  кН болып табылады. Сондықтан қолдану коэффициенті  $\mu_0 = 500/770 = 0,649$  болады. (9.3) теңдеуінен элементтің критикалық температурасы  $540^\circ\text{C}$ .

## 10 СЫҒЫЛҒАН ЭЛЕМЕНТТЕРДІ ЕСЕПТЕУ

### 10.1 Жалпы ережелер

Бұл бөлімде негізінен сығылуға жұмыстайтын элементтердің (бұдан әрі колонна) есебі бойынша нұсқаулар көрсетілген.

Әр түрлі ҚР ҚН EN–дегі есептердің мақсаты конструкцияның элементінде, өрт кезіндегі шекті жағдайда конструкцияның элементіне жүктелген жүктемеге салынатын қарсылыққа арналған жоғарғы температуралар кезінде жетерліктей салмақ көтеру қабілеттігі бар екендігін қамтамасыз ету болып табылады; бұл есептік философия қалыпты температура кезіндегі есепке барабар. Сондықтан, бірінші ретте конструкцияның элементіндегі температураларды анықтау керек. Болат колонналар үшін, егер оттан қорғаушы термиялық көрсеткіштердің сәйкес мәндері бар болса, болаттың температурасын 4 бөлімдегі формуларды қолдана отырып анықтауға болады.

Конструкцияның элементіндегі температураны температурасы кіруші көрсеткіш ретінде танымал екендігін басшылық жобалаған.

Әр түрлі ҚР ҚН EN – дер құрамында сығылған элементтердің әр түрлі типтерінің салмақ көтеру қабілеттігін анықтауға арналған көптеген әдістер бар. 1993-1-2 ҚР ҚН EN –ң құрамында болат элементтерге арналған есептеудің жеңілдетілген әдісі мен критикалық температура әдісі бар.

Кестеге жинақталған әдістің құрамында, колоннаны есептеудің әр түрлі көрсеткіштерінің колоннаның отқа төзімділігін бағалаудың қол жетімді стандартты әдісімен тура байланысына арналған көптеген есептік кестелерден тұрады. Бұл кестелер, жалпы алғанда отқа төзімділіктің стандартты сынақтарына немесе сындық есептеулердің нәтижелеріне негізделген және олардың қарапайымдылығынан олар болуы мүмкін барлық

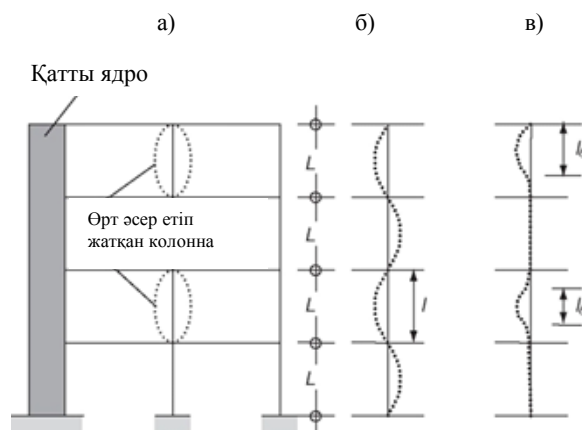
жерде қолданылуы тиіс.

Негізгі әдіс ғимараттар мен құрылыстарды жобалаудың жалпы принциптеріне негізделген және есептік есептей әдістерін қолдануды еліктіреді. Бұл мәселе осы құралдың аясында емес. Сондықтан бұл құрал негізінен есептеудің әр түрлі қарапайым әлістерінің орындалуын қарастырады.

## 10.2 Өрт кезінде колоннаның есептік ұзындығы

Колоннаның есептік ұзындығы – сығу кезінде оның салмақ көтеру қабілеттігін есептеудегі негізгі көрсеткіш. Өрт кезіндегі шекті жағдайлар бойынша есепке арналған колоннаның есептік ұзындығы қалыпты температурадағы сондай ұындықтан өзгеше болады.

Бұл жағдай колоннан өрттің әсерінің асытнда, бірақ өрткенбейтін секция аясында болғанда орындалады. Колоннаның бүгілу қаттылығы жоғарғы температурада төмендейді, бірақ ғимарттың басқа бөліктерінде бүгілу қаттылығы өзгеріссіз қалады. Негізінен колонна үлкейтілген қысуды алады. Әр түрлі ҚР ҚН EN – р бұл фактыны мойындайды және өрт кезінде колоннаның қалыпты температурадағы колоннаның ұзындығымен салыстырғанда азайтылған есептік ұзындықтарын қолданады. Бұдан басқа, ҚР ҚН EN – де шектес «суық» конструкцияның қыздырылған колоннаға деген салыстырмалы мықтылығы шексіздікке ұмтылады, сондықтан қыздырылған колоннаның соңында бітеуі бар деп болжауға болады. 10.1 Суреті ҚР ҚН EN – ң ұсыныстарын көрсеткен. ҚР ҚН EN – дегі есептеу бойынша ұсыныстарды қолдану үшін, 10.1 Суретінде көрсетілгендей, отпен амылған қабаты бар көршілес өрт секцияларынан шектес суық колонналар ғана қыздырылған колонналарға жоғарғы бітеуді қамтамасыз етеді. Бұл шектес горизонталды элементтер қыздырылған колонналар сияқты сол өрттің әсерінің астында болатындықтан болады.



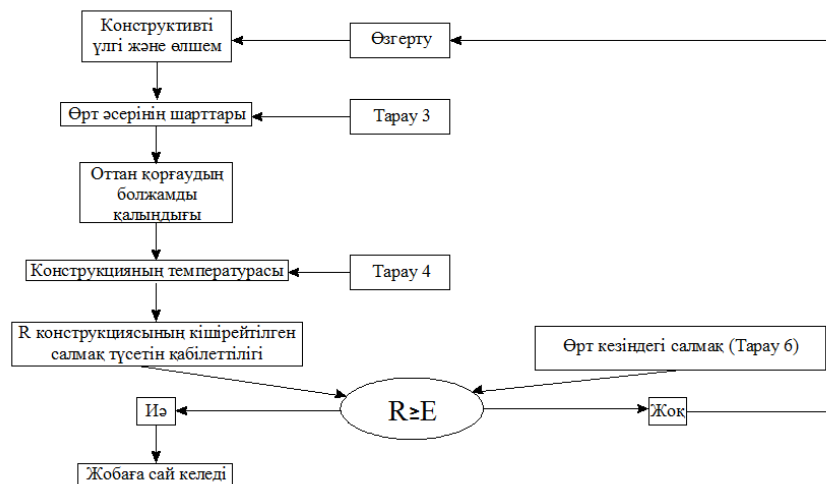
(а) ғимараттың қимасы; (б) бөлме температурасы кезіндегі деформацияланған түрі; және (в) жоғарғы температура кезіндегі деформацияланған түрі

## 10.1 Сурет – Өрт кезіндегі байланыстырушы каркастағы колоннаның есептік ұзындығы

### 10.3 Осы тік бағытта салмақ салынған болат колонналар

#### 10.3.1 Жалпы ережелер

Колоннаның есептеу кезінде тұрақтылықты қарастыру керек болғандықтан, 1993-1-2 ҚР ҚН EN – ң 4.2.4 Тармағындағы критикалық температура әдісін қолдануға болмайды. Болат колонналарға арналған жеңілдетілген әдісті 1993-1-2 ҚР ҚН EN – ң 4.2.3.2 және 4.2.3.6 Тармақтарының көмегімен қолдану қажет. Бұл әдістегі колоннаның температурасы – есептеу есептеулердің жөнелтуші нүктесі. Колоннаның есептік температурасы кезінде колоннаның төмендетілген мықтылығы есептеліп, өрт кезінде колоннаға үктелген жүктемемен салыстырылады. Колонна, жобалағандай, егер колоннаның қалдық мықтылығы өрт кезінде колоннаға жүктелген жүктемеден жоғары болса қауіпсіз болады. Есептеуді жеңілдетілген әдісінде колоннаға жүктелген жүктеме, жобалағандай, өрттің әсері кезінде тұрақты болып қала береді. Егер есептеудің мақсаты колоннаның өртке қарсы қорғанысының қажетті жуандығын табу болса, онда қайталанатын үрдіс қайталады. 10.2 Суреті сол қайталанатын үрдісті көрсетеді.



10.2 Сурет – 1993-1-2 ҚР ҚН EN бойынша жобалау үрдісінің сұлбасы

1993-1-2 ҚР ҚН EN – дегі есептік әдіс, қалыпты температурадағы болат колонналарға арналған 1993-1-1 ҚР ҚН EN – дегі есептік әдіске ұқсас. Бірақ көптеген айырмашылықтар бар. Осы бөлімнің 10.2 Тармағында сипатталған колоннаның есептік ұзындығындағы айырмашылықтан басқа, колоннаның көлденең қимасының жіктелуіне байланысты айырмашылықтар бар. Тұрақтылықты оғалту орны және құрылыс өртке қарсы жобалау үшін колоннаның көлденең қимасының жүктемесіне арналған  $\varepsilon$  азайтылған мәні, келесі формула бойынша анықталады:

$$\varepsilon = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (10.1)$$

0,85 коэффициенті  $\sqrt{k_{E,\theta}/k_{y,\theta}}$  – ған арналған жуық шама болып табылады, және

мұндағы  $k_{E,\theta}$  және  $k_{y,\theta}$  иілгіштік модуліне және  $\theta$  температурада болаттың есептік аққыштық шегіне арналған төмендетуші коэффициенттер болып табылады, 8.1 Кестесі.

1993-1-1 ҚР ҚН EN – нен алынған, беттің енінің жуандығына деген қатынасының шегін пайдалана отырып барлық көлденең қималар УК (эмбебап колонна) – 3 класс немесе егер болаттың маркасы S275 болса одан жақсы екендігін оңай тексеруге болады. Егер болаттың маркасы S355 болса, онда тек  $356 \times 368 \times 129$ УК және  $152 \times 152 \times 23$ УК қималар ғана 4 класты көлденең қималар болып табылады..

### 10.3.2 1, 2 немесе 3 класты көлденең қимасы бар біркелкі қыздырылатын колонна

1, 2 немесе 3 классты көлденең қималары бар колоннан үшін, есептеу кезінде жергілікті тұрақтылықты ескерудің ешқандай қажеті жоқ әне сығудағы колоннаның салмақ көтеру қабілеттігін  $N_{b,fi,t,Rd}$  келесі формула бойынша анықтайды:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi} \quad (10.2)$$

мұндағы  $A$ – колоннаның брутто көлденең қимасы және  $\gamma_{M,fi}$  – өрт кезіндегі шекті жағдайдағы болатқа арналған материал бойынша сенімділік коэффициенті.  $\chi_{fi}$  – колоннаның мықтылығын төмендету коэффициенті, ол колоннаның иілгіштік  $\bar{\lambda}_{fi}$  функциясы болып табылады және оны келесі формула бойынша анықтайды:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_{\theta} + \sqrt{\varphi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}} \quad \text{при} \quad \varphi_{\theta} = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2] \quad \text{и} \quad \alpha = 0,65 \cdot \sqrt{235/f_y} \quad (10.3)$$

Колоннаны іілгіштігін есептеу кезінде  $\bar{\lambda}_{\theta}$ , 10.2 Тармағында сипатталған колоннаның азайтылған есептік ұзындығын ескерумен қатар, жоғарғы температурадағы болаттың аққыштығының есептік шегі мен иілгіштік модуліндегі әр түрлі өзгерістердің эффектiсін ескеру қажет. 1993-1-2 ҚР ҚН EN колоннаның иілгіштігін есептеуге мүмкіндік береді  $\bar{\lambda}_{\theta}$ :

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} \quad (10.4)$$

мұндағы  $\bar{\lambda}$  – қалыпты температурадағы колоннаның иілгіштігі, бірақ 10.2 Тармағында сипатталғандай, өрт кезіндегі колоннаның азайтылған есептік ұзындығын қолдана отырып есептеледі.

Егер есептеудің мақсаты колоннаның шекті температурасын табу, әне колоннаның температурасы белгісіз болса, онда оң бөліктің екінші шартын (10.4) есептеу мүмкін емес. Бірақ болат температурасының практикалық диапазоны шегінде ( $300-800^{\circ}\text{C}$ ), және оң бөліктің екінші көбейтушісі (10.4) шамамен 1.2 тең. Сондықтан, өрт кезіндегі колоннаның иілгіштігін шамамен келесі формула бойынша есептеледі:

$$\bar{\lambda}_{\theta} = 1,2 \cdot \bar{\lambda} \quad (10.5)$$



5 МЫСАЛ Болат колоннаның шектік температурасын есептеу

1) Бастапқы деректер

Болат колоннаның шекті температурасын есептеу қажет.

Бастапқы берілгендер

Колонна қимасының өлшемі:  $305 \times 305 \times 118$ УК

Биіктігі: үздіксіз колоннасы бар өртенбейтін екі қабаттың арасында 4,2 м

Болат маркасы: S275

Жүктелген жүктемелер:

Тұрақты жүктеме: 1000 кН

Ауыспалы жүктеме: 1200 кН

2) Есептеу үрдісі

1 Адым: Өрт кезіндегі шекті жағдайға арналған колоннаның иілгіштігі

Өрт кезіндегі колоннаның есептік ұзындығы:  $L_{e,fi} = 0,5 \times 4,2 = 2,1$  м, тұрақтылықты жоғалту кезіндегі Эйлеров жүктемесі:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{e,fi}^2} = \frac{\pi^2 \times 205 \times 90590}{2,1^2} / 1000 = 41562 \text{ кН}$$

Созылымды кезеңіндегі колоннаның қалыпты температура кезіндегі салмақ көтеру қабілеттігі:

$$N_u = f_y \cdot A = 0,275 \times 15000 = 4125 \text{ кН}$$

Қалыпты температурада колоннаның иілгіштігі:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_u}{N_{cr}}} = 0,315$$

Өртке қарсы есептеуге арналған колоннаның жуық иілгіштігі:

$$\bar{\lambda}_\theta = 1,2 \cdot \bar{\lambda} = 0,378$$

2 Адым: Колоннаның шекті температурасы

Ауыспалы жүктемеге арналған сенімділік коэффициенті 0,5 екендігін жоғалай отырып (7.1 Кесте), өрт кезіндегі шекті жағдайда жүктелген жүктемені анықтаймыз:  $1000 + 2000 \times 0,5 = 1600$  кН.

(10.3) Теңдеуіне сәйкес,  $\alpha = 0,601$ ,  $\varphi = 0,685$ ,  $\chi_{fi} = 0,796$ . Оттағы болатқа арналған сенімділік коэффициенті 1,0 деп жобаласак, онда (10.2) Формуласы бойынша:

$$k_{y,\theta} = N_{b,fi,t,Rd} / (\chi_{fi} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M,fi}) = 1600 / (0,796 \times 4125 / 1,0) = 0,487$$

8.1 Кестесінде колоннаның шекті температурасы  $595^\circ\text{C}$ .

Осы температурада болаттың иілгіштік модуліне арналған төмендетуші коэффициент 0.3245, (10.4) Теңдеуінің оң жағындағы екінші шартының мәні 1,225. (10.3) Теңдеуіне сәйкес, өрт кезіндегі колоннаның иілгіштігі 0,386. Бұл иілгіштік қабылданған 0,378 мәнінен өзгеше, сондықтан қайталау қажет.

Келесі қайталау қайталап қарастырылған колоннаның шекті температурасын  $594^\circ\text{C}$  есептейді, бұл мән алдыңғы мәнге жетерліктей жақын әне оны колоннаның соңғы шекті температурасы ретінде алуға болады.

### 10.3.3 класты көлденең қимасы бар біркелкі қыздырылатын колонна

4 класты көлденең қимасы бар колонналар үшін, мұнда жергілікті тұрақтылықтың маңызы зор, 1993-1-2 ҚР ҚН EN колоннаның отқа төзімділігін бағалаудың екі баламалы әдісін ұсынады. Еңілрек әдісте, 1993-1-2 ҚР ҚН EN колоннаның консервативті шектеуші

температура 350°C – ты ұсынады. Баламалы әдіс 1993-1-2 ҚР ҚН EN – ң Е Қосымшасында бар. Бұл әдісте, есептік ені жергелікті тұрақтылық эффектiлерiн қарастыру үшін қолданылады, және 1993-1-2 ҚР ҚН EN бiркелкi жұмыстық ендi қалыпты температурадағыдай қолдануды ұсынады. Нәтиесiнде, есептік есептеулер 1, 2 немесе 3 класты көлденең қимасы бар колонналардағыдай жалғасуы тиiс, бiрақ брутто 1, 2 немес 3 класты көлденең қиманың қасиеттерi 4 класты көлденең қиманың тиiмдi қасиеттерiне алмастырылуы тиiс.

#### **10.3.4 Осьтік жүктеме және бұғу моментінің әсерінің астындағы бiркелкi қыздырылатын колонна**

Осьтік жүктеме мен иілуші моменттің әсеріндегі бiркелкi қызатын колонналар үшін 1993-1-2 ҚР ҚН EN формулалардың екi жиынтығын ұсынады, бiрiншiсi 1, 2 және 3 класты көлденең қимасы бар элементтерге арналған, ал екiншiсi 4 класты көлденең қимасы бар элементтерге арналған. Бұл теңдеулер 1993-1-1 ҚР ҚН EN – дегi қалыпты температурадағы теңдеулерге барабар, бiрақ, өзiнiң осьтік жүктемесiнiң әсерi астындағы элементтің салмақ көтеру қабiлеттiгi қолданылуы тиiс.

#### **10.3.5 Бiркелкi емес қыздырылмайтын болат колонналар**

Болат колонналар бiркелкi емес қыздырылатын көптеген жағдайлар бар, мысалы өрттің әсерi бiр ағынан ғана болатын қабырғаның бөлiгi болып табылатын колонна. Қазiргi кезде, осы мәселеге байланысты 1993-1-2 ҚР ҚН EN – дегi ұсыныстар жеңiлдетiлген, және «температурасы бiркелкi емес таралған сығылған элементтің есептік салмақ көтеру қабiлеттiгi бiркелкi температуралы  $\theta$  сығылған элементтің салмақ көтеру қабiлеттiгiне тең деп, болаттың максималды температурасыне тең етiп алынады» деп бекiтiлген. 1, 2 немесе 3 класты көлденең қимасы бар колонналар үшін 1993-1-2 ҚР ҚН EN – де берiлген ұсыныстар, егер колоннаның иiлгiштiгi өте төмен немесе өте жоғары болғанда ғана орынды болады. Орташа иiлгiштiгi бар колонналар үшін ( $40 < \lambda < 100$ ), 1993-1-2 ҚР ҚН EN – дегi ұсыныстар қауiпсiз емес болуы мүмкiн. Мүмкiн есептеудiң жетiлдiрiлген әдiстерiн қолдану қажет шығар. 4 класты көлденең қимасы бар колонналар үшін 1993-1-2 ҚР ҚН EN – ң Е Қосымшасын қолдануға болады, бiрақ жылулық бүгiлудiң эффектiсiн анықтау қажет.

### **11 БҮГІЛЕТІН ЭЛЕМЕНТТЕРДІ ЕСЕПТЕУ**

#### **11.1 Жалпы ережелер**

Бұл бөлімде иілгіш элементтерді (болат арқалықтар) есептеу туралы апарат бар.

Арқалықтың көлденең қимасындағы температура кіруші мәліметтер болып табылады деп болалған.

Балама ретінде, оқушылар осы құралдың 4 Бөлімін қарауы қажет.

## 11.2 Болат арқалықтар

### 11.2.1 Жалпы ережелер

Өрт кезіндегі шекті жағдайда болат арқалықтарды есептеу 1993-1-1 ҚР ҚН EN – де қалыпты температурада есептеген есептерге ұқсас. 1993-1-2 ҚР ҚН EN бойынша болат арқалықтар келесілерге тексеру қажет:

- бүгілу моменті бойынша жетерліктей салмақ көтеру қабілеттігі
- жылжудағы жетерліктей салмақ көтеру қабілеттігі
- бүгілу – айналу кезінде тұрақтылықтың жоғалуындағы жетерліктей салмақ көтеру қабілеттігі
- шекті деформация.

### 11.2.2 Бүгілетін момент бойынша салмақ көтеру қабілеттігі

Болат арқалықтар әдітте үш жағынан өрттің әсеріне душар болады, себебі арқалықтардың жоғарғы жағы жоғарғы қабеттің еденімен бөлектелген, сондықтан арқалықтың көлденең қимасында температураның таралуы біркелкі емес болу тенденциясы бар. Температураның біркелкі емес таралуы көлденең қиманың әр түрлі жерлеріндегі болаттың мықтылығы мен қаттылығы әр түрлі болады дегенді білдіреді, сондықтан бұл жағдайды есептеу кезінде ескеру қажет.

1993-1-2 ҚР ҚН EN – де, 1 немесе 2 классты көлденең қиманың бүгілу моменті бойынша салмақ көтеру қабілеттігі көлденең қиманың бүгілу моменті бойынша пластикалық салмақ көтеру қабілеттігіне тең, ал оны екі әдісті қолдана отырып есептеуге болады. Бүгілу моментінің салмақ көтеру қабілеттігін анықтаудың пластикалық әдісі деп атайтын бірінші әдісте (4.2.3.3 (2) Тармағы), болат көлденең қима көптеген блоктарға бөлінеді. Әр блок өзінің аққыштық шегіне жетеді деп болжалған. Бірыңғай осьтік салмақ көтеру қабілеттігі бар сығылған және созылған бөліктерге көлденең қиманы бөлетін көлденең қиманың созымдылығының нейтралды осын тапқанан кейін көлденең қиманың бүгілу моменті бойынша созылымды салмақ көтеру қабілеттігін барлық блоктардың үлесін қосу арқылы анықтауға болады. Бұл әдіс бүкіл көлденең қиманың температуралары туралы ақапартты талап етеді. Баламалы әдісте (4.2.3.3 (3) Тармағы), температурасы біркелкі емес таралған көлденең қиманың бүгілу моменті бойынша созылымды салмақ көтеру қабілеттігі температураның біркелкі таралуымен байланысты және келесі формула бойынша есептеледі:

$$M_{fi,t,Rd} = \frac{M_{fi,\theta,Rd}}{k_1} \quad (11.1)$$

мұндағы  $M_{fi,t,Rd}$  – температурасы біркелкі емес таралған көлденең қиманың бүгілу моменті бойынша созылымды салмақ көтеру қабілеттігі,  $k_1 (= 0,7)$  өзгеру коэффициенті және  $M_{fi,\theta,Rd}$  –  $\theta$  температураның біркелкі тарауы кезіндегі көлденең қиманың бүгілу моменті бойынша созылымды салмақ көтеру қабілеттігі. Егер сенімділік коэффициентін ескермеген жағдайда, онда  $M_{fi,\theta,Rd}$  – ны қалыпты температура кезіндегі көлденең қиманың

бүгілу моменті бойынша созылымды салмақ көтеру қабілеттігін болаттың аққыштық шегіне арналған төмендетуші коэффициентімен (8.1 Кестесіндегі  $k_{y,\theta}$ ) көбейту арқылы анықтайды. 1993-1-2 ҚР ҚН EN – де,  $\theta$  біркекі температура «тіреулерден болатын жылулық әсерлерге душар болмайтын көлденең қимадағы  $t$  уақытындағы  $\theta_a$  біркелкі температура» деп айтылған. Бұл шын мәнінде, анықтаманың шиеленістіріп жібереді. Себебі көлденең қиманың төменгі полкасы – ең критикалық элемент  $\theta$  біркелкі температура полка тіреуден алыс орналасқандай алынуы тиіс.

3 классты көлденең қималар үшін (11.1) Теңдеуі қолданылуы тиіс. Бірақ,  $M_{f,\theta,Rd}$ , біркелкі температура  $\theta$  кезіндегі көлденең қиманың бүгілу моменті бойынша серпінді салмақ көтеру қабілеттігі ретінде алынуы тиіс.

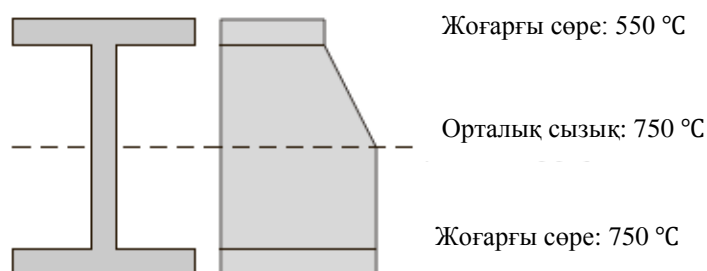
Төменде есептеудің екі әдісін көрсеткен мысал келтірілген.

6 МЫСАЛ Момент бойынша салмақ көтеру қабілеттігін есептеу

1) Бастапқы деректер

11.1 Суреті  $457 \times 152 \times 67UB$  жасалған болат арқалықтың көлденең қимасындағы температураның таралуын көрсетеді.

Созылымды бұғу моментінің көлемін анықтау қает. Болаттың классы – S275, жіне материал бойынша сенімділік коэффициенті 1.0.



11.1 Сурет – 11.1 мысалына қабылданған температура таралуы

2) Есептеу нәтижелері

Әдіс 1: созылымды бүгілу моментінің салмақ көтеру қабілеттігін анықтау бойынша әдіс

Көлденең қиманы 1 классқа сәйкес келуін тексеруге болады. Көлденең қима келесілерден тұратын бес қабатқа бөлінеді: жоғарғы полка ( $153,8 \text{ мм} \times 15,0 \text{ мм}$  – ге), жоғарғы  $1/4$  қабырғалар, осьтік сызықтардың үстіндегі  $1/4$  қабырғалар (жоғарғы  $1/4$  қабырғалар), осьтіксызықтың астындағы  $1/2$  қабырғалар, және төменгі полкалар. Бүкіл көлденең қиманың қисықтық радиусы қабырғаны жағалай тең таралады деп болжалған, және қабырғаның жуандығы  $9,22 \text{ мм}$ , оны есептеулерде қолдануға болады. Нәтижелер соңында 11.1 Кестесінде жинақталған, ол бойынша көлденең қиманың төменгі бөлігі сохылған деп, ал жоғарғы жоғаы сығылған деп болжалған. Жоғарғы полканың сығудағы салмақ көтеру қабілеттігі, басқа бөліктерді сығудағы жинақталған салмақ көтеру қабілеттігінен жоғары болғандықтан созылымды нейтралды ось жоғарғы полкада орналасқан, және ол бұдан әрі көлденең қиманың созушы әне сығушы салмақ көтеру қабілеттіктері тең болатындай етін екі бөлікке бөлінген, біріншісі сығылған ( $14.876 \text{ мм}$  жуандығы бар) және екіншісі созылған ( $0.124 \text{ мм}$  жуандығы бар).

## 11.1 Кесте – 6 мысалдың есептеу нәтижелері

Облысы	Облыс температура сы (°C)	Есептік мықтылық (Н/мм <sup>2</sup> )	Салмақ көтеру қабілеттігі (кН)	Рычаг иығы (мм)	Момент бойынша салмақ көтеру қабілеттігі (кН · м)
Жоғарғы полка	550	$0,625 \times 275 = 171,9$	393,3 (C)	7,438 (C)	2,925
			3,28 (P)	0,062 (P)	0,002
Жоғ. $1/4$ қабырғалар	600	$0,47 \times 275 = 129,25$	127,5 (P)	53,624 (P)	6,837
Осьтің үстіндегі $1/4$ қабырға	700	$0,23 \times 275 = 63,25$	62,40 (P)	160,624 (P)	10,023
Осьтің астындағы $1/2$ қабырға	750	$0,17 \times 275 = 46,75$	92,24 (P)	321,124 (P)	29,620
Төменгі полка	750	46,75	107,85 (P)	435,624 (P)	46,982
Барлығы	—	—	$C = T = 393,3$	—	96,389

Көлденең қиманың бүгілу моменті бойынша созылымды салмақ көтеру қабілеттігі–  
 $M_{pl,t,Rd} = 96,389 \text{ кН} \cdot \text{м}$

Әдіс 2: (11.1) Теңдеуі

Көлденең қиманың созылымдық модулі –  $1453 \text{ см}^3$ . Көлденең қиманың бүгілу моменті бойынша созылымды салмақ көтеру қабілеттігі:

$$M_{pl,t,RD} = (0,17 \times 0,275 \times 1453)/0,7 = 97,04 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Осы көлденең қима үшін және температураның ерекше таралуы үшін бұл екі әдістің нәтижелері бірдей болды. Жалпы, осы баламалы әдіс ((11.1) Теңдеуі), ең дұрыс нәтижені береді деп есептеледі. Көлденең қиманың бүгілу моменті бойынша созылымды салмақ көтеру қабілеттігін анықтаудың қиын әдісі – температураның біркелкі емес аусымдары бар көлденең қимамен байланысу – мысалы, карниздің бұрыштық арқалықтары немес жабынның жіңішке арқалықтары.

Кейбір жағдайларда арқалықты есептеудің мақсаты белген жүктемеде арқалық қаншалық температураға шыдай алатындығын анықтау болып табылады. Егер бүгілу – айналуға тұрақтылық жоғалтудың еш қауіптігі жоқ болса (өрт кезіндегі шекті жағдайда үнемі шындық болады), және арқалықтың есебін көлденең қиманың бүгілу моменті бойынша салмақ көтеру қабілеттігін ескере отырып жүргізілсе, онда 1993-1-2 ҚР ҚН EN – ң 4.2.4 Тарағындағы критикалық температура әдісін қолдануға болады. Критикалық температура – арқалықтың шыдайтын максималды температурасы. Критикалық температура әдісінде арқалықтың критикалық температурасы арқалықты қолдану коэффициентімен ( $\mu_0$ ) байланыстырылады. Бұл коэффициент өрт кезіндегі шекті жағдайда арқалыққа жүктелген максималды бүгілу моменттінің қалыпты температурада арқалықтың бұғу моментіндегі салмақ көтеру қабілеттігіне деген қатынасы болып табылады. Температурасы біркелкі емес таралған көлденең қима үшін қолдану

коэффициенті  $k_1 (= 0,7)$  коэффициентіне көбейту арқылы өзгертілуі тиіс. Критикалық температура әдісі мен қолдану коэффициенті арасындағы байланыс:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \cdot \ln \left( \frac{1}{0,9674 \cdot \mu_0^{3,833}} - 1 \right) + 482 \quad (11.2)$$

Келесі мысал критикалық температура әдісінің қолданылу аясын көрсетеді.

#### 7 МЫСАЛ Критикалық температура әдісі

##### 1) Бастапқы деректер

Көлденең қиманың критикалық температурасын есептеу 6 Мысалында көрсетілген. Өрт кезіндегі жекті жағдайда арқалыққа жүктелген максималды бұғу моменті, жоғарыдағы 11.1 мысалдағы 2 әдісті қолдана отырып есептелген бұғу моменті бойынша созылымды салмақ көтеру қабілеттігіне тең деп алайық.

##### 2) Есептеу үрдісі:

Қолдану коэффициенттерін есептеудің нәтижелері:

$$\mu_0 = 0,7 \times 97,04 / (0,275 \times 1453) = 0,17$$

(11.2) формуласы бойынша  $\theta_{a,cr} = 749,4^\circ\text{C}$  екендігін анықтаймыз. Бұл критикалық температура 6 Мысалында қолданылған  $750^\circ\text{C}$  максималды температураға барабар. Бұл таңқаларлықтай емес, себебі қолдану коэффициентінің критикалық температураға қатынасы ((11.2) Тендеуі), 8.1 Кестесінде есептелген, болат аққаштығының тиімді шегінің температураға деген қатынасының қисықтарын таңдап алу нәтиесі болып табылады.

### 11.2.3 Жылжудағы салмақ көтеру қабілеттігі

Өрт кезіндегі болат көлденең қиманы жылжытудағы салмақ көтеру қабілеттігін есептеу қалыпты температурадағыдай жүргізіледі, яғни көлденең қиманы жылжудағы салмақ көтеру қабілеттігі – қабырғаны жылжытудағы салмақ көтеру қабілеттігі. 4.2.3.3 (6) Тармағында қабырғаның анықтамалық температурасы қабырғаның орташа температурасы ретінде анықталады. Бұл – жуық шама, себебі нақты айтқанда, жуық шамалау үрдісі қабырғаның температурасына емес болат қабырғаның мықтылығын есептеуде қолданылуы тиіс. Бірақ, болат қабырғаның есептік мықтылығын жуық шамалау қиынырақ болушы еді. Келесі мысалды жуық шамалаудың екі әдісінің айырмашылығын көрсетеді.

#### 8 МЫСАЛ Жылжудағы салмақ көтеру қабілеттігін есептеу

##### 1) Бастапқы деректер

6 Мысалындағы көлденең қиманы жылжытудағы салмақ көтеру қабілеттігін есептеу.

##### 2) Есептеу нәтижелері

1 Қабырғаның орташа температурасын қолданамыз

Қабырғаның орташа температурасы:

$$\frac{1}{2} \cdot \left( \frac{(550 + 750)}{2} + 750 \right) = 700^\circ\text{C}$$

8.1 Кестесінде сәйкес болаттың аққаштық шегіне  $k_{y,\theta,web} = 0,23$  арналған төмендетуші коэффициентті анықтау.

2 Болат қабырғаның орташа есептік қаттылығын қолдана отырып  
6 мысалындағыда қабырға үш бөлікке бөлінеді деп болжайық. Болат қабырғаның аққыштық шегіне арналған орташа төмендетуші коэффициент:

$$k_{y,\theta,web} = \frac{1}{2} \times [(0,47 + 0,23)/2 + 0,17] = 0,26$$

Қабырғаның орташа температурасын есептеу көлемді жұмыс болуы мүмкін, себебі қабырғаның бүкіл бөлігінде температураның таралуын білу қат. Жылжудағы салмақ көтеру қабілеттігі әдетте жобада анықтаушы фактор болып табылмайды, сондықтан қабырғаның температурасы – ыстық полкадағыдай деп болжаған қауіпсіз болады.

#### **11.2.4 Бүгілу – айналдыруда тұрақтылықты жоғалту**

##### **11.2.4.1 Жалпы ережелер**

Бүгілу – айналдырудағы тұрақтылықты жоғалту, өрт кезіндегі шекті жағдайда болат арқалықтарды жобалау үшін сирек жағдайларда ғана кедергі тудырады.

1993-1-2 ҚР ҚН EN – нен алынған есептеу әдістерін қысқаша сипаттап өтейік.

##### **11.2.4.2 Көлденең қимада температурасы біркелкі таралған болат арқалық**

Көлденең қимасында температура біркелкі таралған арқалық үшін өрт кезіндегі шекті жағдайдағы арқалықтың бүгілу – айналдырудағы тұрақтылығын жоғалтудың салмақ көтеру қабілеттігін есептеуді, 1993-1-1 ҚР ҚН EN – дегідей қалыпты температура кезіндегі әдіс бойынша жүргізу қажет. Бірақ екі өзгеріс бар: (1) арқалықтың иілгіштігі өзгертілген болуы тиіс, бұл жоғарғы температуралардағы болаттың серпімділік модулі мен аққыштық шегіне арналған төмендетуші коэффициенттердегі айырмашылықтарды ескеруге қажет; (2) өрт кезіндегі шекті жағдайда бүгілу – айналдыруда тұрақтылықты жоғалтуға арналған мықтылықты төмендету коэффициентін (8.3) теңдеу бойынша есептеген дұрыс. Екі өзгерісте болат колонналарға арналған сондай өзгерістермен барабар, және олар 8.3 Тармағында сипатталған.

##### **11.2.4.3 Көлденең қимасында температура біркелкі емес таралған болат арқалық**

Болат арқалықтың көлденең қимасында температураның таралуы біркелкі болмағанда бүгілу – айналдырудағы тұрақтылықты жоғалту бойынша салмақ көтеру қабілеттігіне арналған есептеу әдісі біркелкі таралған температурасы бар болаттағыдай болады, бірақ сығылған полканың максималды температурасы  $\theta_{a,com}$  арқалықтың анықтамалық біркелкі температурасы ретінде қолданылуы тиіс. Егер барлық көлденең қимадағы сығылған полкада – ең жоғарғы температура бар деп қабылдаса консервативті болады. Бұл әдіс, егер сығылған полкада – ең төменгі температурасы болса, мүмкін қауіпсіз емес болуы мүмкін.

### **11.2.5 Деформацияны ескеру**

Өртке қарсы қауіпсіздікті есептеудің негізгі мақсаты өрттің таралуының алдын алуда тұрады. Салмақ көтеруші элемент үшін есептің негізгі критерийі –конструктивті бұзылуды болдырмау, сондықтан элементтің есептік мықтылығы – ең негізгі көрсеткіш болып табылады. Бірақ, кейбір арқалықтар үшін деформацияны да ескеру қажет болатын шығар. Мысалы, келесі ауытқушылықтарды ескеру маңызды болады:

1) Ақалықтың үлкен ауытқулар оттан қорғаушы материалды үлкен шиеленістерге әкеледі, соның нәтижесінде оттан қоғаушы материал нәзік болып, болат арқалықтан айырылуы мүмкін.

2) Арқалықтың үлкен деформациясы арқалықтың астындағы аралас элементтерде ойықтардың пайда болуына әкеледі, нәтижесінде өрткенбейтін секция конструкциясының бүтіндігінде бұзушылық пайда болады.

Жоғарыда аталған екі жағдайлар үшін арқалықтың деформация шегі бір бірінен өзгеше болуы мүмкін. Егер есеп оттан қорғаушы материалды орындауға байланысты болса, онда деформация шегі оттан қорғаушы материалды тиімді емес еткен болаттың максималды кернеуіне сәйкес болуы тиіс. Жалпы алғанда, әдетте қолданылатын оттан қорғаушы материалдар болаттың толық мықтылығы қамтамасыз етілетіндей етіп үлкен деформацияларды қабылдай алады. Бірақ, оттан қоғаушы материал үлкен деформацияларды қабылдай алмаса, болаттың есептік мықтылығы оттан қоғаушы материал деформациясының максималды дәрежесіне дейін сәйкес азайтылуы тиіс.

Екінші жағдай үшін, секцияның бүтінділігін бұзбай болат арқалық деформацияланатын кезде ол қажетті жағдай бойынша ешқашан қарастырылмайды. Өрттің конструктивті жасампаздығындағы соңғы кез жаңалықтарында конструкцияның деформациясы өте үлкен мәндерге жақындатылады, бірақ ол жағдайда ол конструкцияның бұзылуына әкелмейді, конструкцияның мықтылығына ғана негізделген есеп өртке қарсы қауіпсіздікке сай келмеуі мүмкін және конструкция деформациясын нақты тексеру қажет болатын шығар. Ол үшін есептеудің алдыңғы қатарлы әдістерін қолдану қажет, себебі әр түрлі ҚР ҚН EN – дегі жеңілдетілген есептеу әдістері осы мәселені шеше алмайды.

### **11.3 Үш жағынан өрттің әсері астындағы және төртінші жағында бетон плитасы бар болат арқалық**

Үш жағынан өрттің әсері асындағы және төртінші жағында бетон плитасы бар болат арқалықты болат арқалық ретінде немесе болаттемірбетон арқалық ретінде жобалауға болады. 11.2 Тармағындаболат арқалықтарға арналған есептеу көрсетілген.



## 12 КОНСТРУКЦИЯНЫҢ БАСҚА ТҮРЛЕРІ

### 12.1 Жалпы ережелер

Әр түрлі болат конструкциялардың отқа төзімділігін зерттеу үшін көптеген зерттеу жұмыстары жүргізілді, мұнда болат элементтердің сәйкес өртке қарсы қорғанысы, қосымша өртке қарсы қорғаныс талап етілмейтін етіп қолда бар конструктивті элементтермен қамтамасыз етілген. Конструкцияның көптеген сондай элементтері 1994-1-2 ҚР ҚН EN – де бар, мысалы, темірбетонмен толтырылған әмбебап арқалықтар мен колонналар, темірбетон контруктивті көтеруші жүйенің бөлігі ретінде қолданылатын құбырлық колонналар, сол сияқты болаттың өртке қарсы қорғанысын қамтамасыз ету үшін.

### 12.2 Жабынның жұқа арқалықтары

Жабынның жұқа арқалықтары енді болат плитаны әмбебап колоннаның төменгі полкасына пісіру арқылы жасалады Темірбетон/болаттемірбетон плита қосымша бет арқалы ұсталып тұрады. 12.1 (a) Суреті сондай конструкцияның мысалын келтіреді. Ассиметриялық арқалық жабын арқалықтың осындай жүйесіне ұқсас, айырмашылығы қосымша пісіруді қажет етпейді (12.1 (b) Суреті). Екі жүйеде де темірбетон болат арқалықтың жоғарғы полкасын және оның қабырғасын қоршайды, және тек төменгі полка ғана өрттің әсерінде болады. Сонымен, болат арқалықта елеулі қалдық кернеу бар. Отқа төзімділіктің стандартты тестілерінің нәтижелері, конструкцияның осы түрі өртке қарсы қорғаныссыз 60 минут отқа төзімділікке жете алады деп көрсетеді.

### 12.3 Тіреу бұрыштары бар арқалықтар

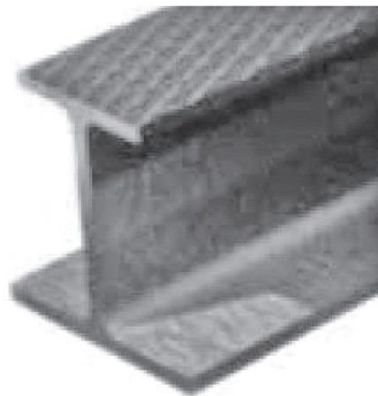
Тіреу бұрыштары бар арқалықтар, екі болат бұрыш профилдерді арқалық қабырғасының екі ағына пісіру арқылы өндіреді. Осы бұрыш профильдердің функциясы бетондалған еденнің плитасын тіреу болып табылады. 12.2 Суретінде осындай конструкцияның мысалы келтірілген. Өрт болған жағдайда төменгі полка мен қабырғаның төменгі бөлігі ғана өрттің әсерінде болады. Жоғарғы полка мен қабырғаның жоғарғы бөлігіндегі қабырға бетондалған еден плитплпрымен қорғалған. Болат бұрыштар да жүйенің отқа төзімділігіне болыса алады. Отқа төзімділіктің стандартты сынақтарының нәтижелері, конструкцияның осы түрі өртке қарсы қорғаныссыз кем дегенде 30 минут стандартты отқа төзімділікке жете алады деп болжаған.

Конструкцияның осы түрі үшін отқа төзімділікті стандартты есептеу болат профилді созылымды есептеуге негізделген және бетон плиталардың көмегі есептелмеген.

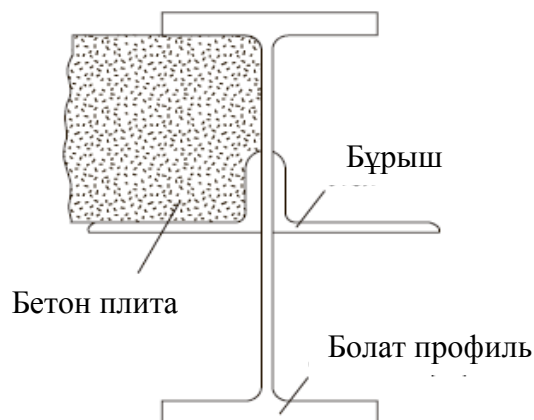
а)



б)



### 12.1 – (а) Жабынның жұқа аркалығы және (б) асимметриялы аркалық



### 12.2 Сурет – Тіреу бұрыштары бар аркалықтың көлденең қимасы

Осы құралда болат профильдағы, оның ішінде өрттің стандартты шартындағы болат бұрыштардағы температураны анықтауға арналған есептеудің жуық шамалау әдісі бар. Бұл әдістеме төменде көрсетілген. Бұл әдісте болат профиль жеті блокқа 12.3 Суретінде көрсетілгендей бөлінген..

Блок 1 – төменгі полка. Оның температурасын және қорғалмаған төменгі полканың кима коэффициентін (6.1) Тендеуін колдана отырып есептеуге болады

$$\frac{A_m}{V} = \frac{2 \cdot (B_e + t_f)}{B_e \cdot t_f} \approx \frac{2}{t_f} \quad (12.1)$$

мұндағы  $t_f$  – төменрек полканың жуандығы.



### 12.3 Сурет – Тіреу бұрыштары бар арқалықтардың температуралық блоктары

Блок 2 – арқалықтың болат профилінің төменгі қабырғасы. Отқа төзімділік сынағының стандартты нәтижелерінің анализі 2 блоктағы температура төменгі полканың температурасымен тура байланысты екендігін көрсетеді. Бетон плитаға жылу беру дәрежесі  $D_e/B$  қатынасы көлемімен берілген. 12.1 Кесте көмегімен болат профиль қабырғасының төменгі бөлігіндегі температура анықталады, мұндағы  $T_1$  – профиль төменгі полкасының температурасы.

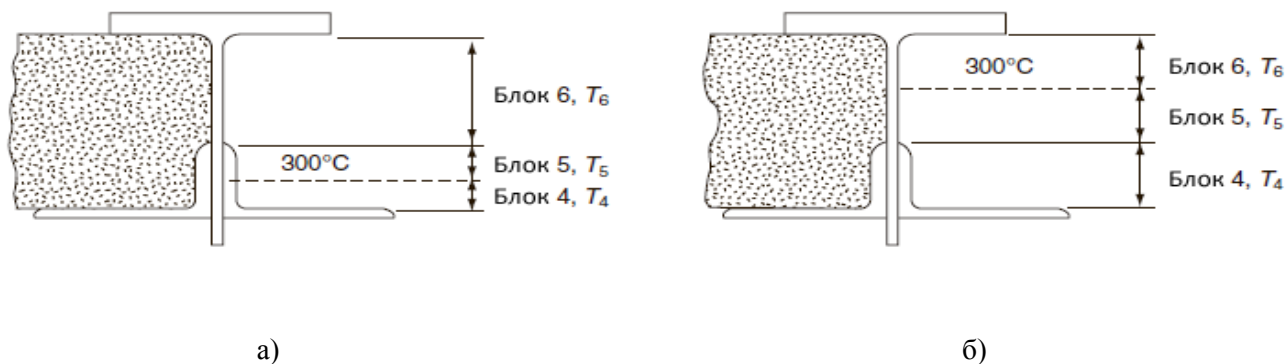
Блок 3 – бұрыштық профиль полкасы. Оның температурасы 12.2 Кестесінде есептелген. 4, 5 және 6 блоктарының нақты орналасқан жері  $300^\circ\text{C}$  – ға тең температуралы сызықтың орналасқан жеріне тәуелді. Егер болаттың температурасы  $300^\circ\text{C}$  – тан аз болса, онда болат өзінің бастапқы мықтылығын сақтап қалады деп болжалған. 12.4 Суретінде температуралық сызықтың болуы мүмкін орны көрсетілген.

#### 12.1 Кесте – Қабырға төменгі бөлігінің температурасы (12.3 Суретіндегі блок 2)

Өлшемдердің қатынасы	Отқа төзімділік кезеңіндегі қабырғаның температурасы		
	30 минут	60 минут	90 минут
$D_e/B \leq 0,6$	$T_1 - 140$	$T_1 - 90$	$T_1 - 60$
$0,6 < D_e/B \leq 0,8$	$T_1 - 90$	$T_1 - 60$	$T_1 - 30$
$0,8 < D_e/B \leq 1,1$	$T_1 - 45$	$T_1 - 30$	$T_1$
$1,1 < D_e/B \leq 1,5$	$T_1 - 25$	$T_1$	$T_1$
$1,5 < D_e/B$	$T_1$	$T_1$	$T_1$

#### 12.2 Кесте – Арқалықтың бұрыштық полкасының температурасы

Өлшемдердің қатынасы	Отқа төзімділік кезеңіндегі қабырғаның температурасы		
	30 минут	60 минут	90 минут
$D_e/B \leq 0,6$	475	725	900
$0,6 < D_e/B \leq 0,8$	510	745	910
$0,8 < D_e/B \leq 1,1$	550	765	925
$1,1 < D_e/B \leq 1,5$	550	765	925
$1,5 < D_e/B$	550	765	925



(а) бұрыштық полкада; (б) бұрыштан жоғары  
12.4 Сурет – 4, 5 және 6 блоктарын анықтау

6 және 7 блоктарының температурасы 300°C-тан төмен. Болаттың толық мықтылығы сақталатындықтан, бұдан әрі ештеңені есептеудің қажеті жоқ.

4 және 5 блоктарындағы температура келесі формула бойынша есептелген:

$$T_x = T_R - G_x, T_x \geq 300^\circ \text{C} \quad (12.2)$$

мұндағы  $T_R$  – бұрыштың жабысқан жеріндегі температура;  $x$  – бұрыштың жабысқан жерінен бастаған ара қашықтық (мм);  $G$  – осы облыстағы температуралық градиент ( $^\circ\text{C}/\text{мм}$ ). Отқа төзімділіктің стандартты кезеңдері 30 минут, 60 минут және 90 минут, температуралық градиенттерге 2.3 $^\circ\text{C}/\text{мм}$ , 3.8 $^\circ\text{C}/\text{мм}$  және 4.3 $^\circ\text{C}/\text{мм}$  тең.

(12.1) Теңдеуінен, 300°C орналасқан жерін келесідей анықтайды:

$$x = \frac{T_R - 300}{G} \quad (12.3)$$

$T_R$  мәні 12.3 Кестесінде есептелген.

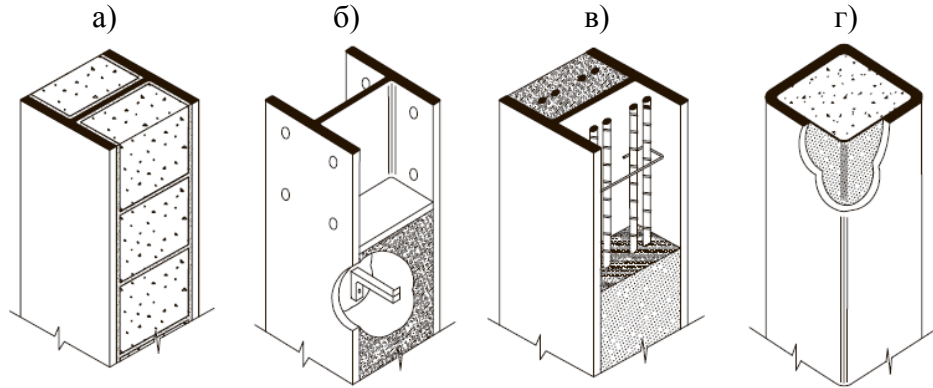
12.3 Кесте – Температура  $T_R$

Өлшемдердің қатынасы	Отқа төзімділік кезеңіндегі қабырғаның температурасы		
	30 минут	60 минут	90 минут
$D_e/B \leq 0,6$	350	600	775
$0,6 < D_e/B \leq 0,8$	385	620	785
$0,8 < D_e/B \leq 1,1$	425	640	800
$1,1 < D_e/B \leq 1,5$	425	640	800
$1,5 < D_e/B$	425	640	800

## 12.4 Толтырылған колонналар

Автоклакта желдетілген бетен блоктар полкалардың ішкі жақтары арасында орналасқан болса болат колоннаның отқа төзімділігі елеулі түрде көбейтіледі. Бұл қабылданған вариантта (консервативті) блоктар салмақ көтеру қабылеттігіне өзінің үлестерін қоспайды және колонна мен полкалардың ішкі жағының жекеленуін қамтамасыз етеді, және болат профильдің температурасының жоғарлауын қысқартуға әкеледі. Бұл жағдай 12.5 Суретінде көрсетілген.

Жүктеменің қатынасы  $0.6$  аспаған және қима коэффициенті  $69 \text{ м}^{-1}$  жоғары болмаған жағдайда бұл шешім 30 минуттық отқа төзімділік үшін сай келеді. 30 минуттық отқа төзімділікке жету үшін қажетті колоннаның ең кем дегендегі өлшемі  $203 \times 203 \times 52 \text{ УК}$  болады және жекелендірудің қажетті дәрежесіне жету үшін бетонды блоктарда минималды тығыздығы  $475 \text{ кг/м}^3$  болуы тиіс. Егер 30 минуттан жоғары отқа төзімділік қат болса – қол жетімді шешімдердің бірі ол жартылай толтырылған колонналар әне темірбетонмен толтырылған тікбұрышты қуыс профильдер.



(а) бетон блоктары бар болат колонналар; (б) жартылай толтырылған (армиrlenбеген) болатколонна; (в) жартылай толтырылған болат колонна (армиrlenген); (г) темірбетонмен толтырылған болат профиль

## 12.5 Сурет – Жартылай қорғалған колонналар

## 13 ҚОСЫЛЫСТАР

### 13.1 Жалпы ережелер

Дәстүрлі құрылыстық өртке қарсы жобалау жеке элементтерді (арқалықтар, колонналар, қабырғалар, жабу плиталары) қарастыру негізіне негізделген. Бағалау әдістері (конструкцияның стандартты өртке төзімділігін сынау сынағы) құрылыс конструкциясы элементтерінің арасындағы өзара қатынасты қарастырмайды. Қосылыстардың өрт кезіндегі немесе өрттен кейінгі жағдайлардағы тәртібі толық конструктивті тұрақтылықты қамтамасыз ету көз қарасынан критикалық болуы мүмкін. Жобалаушылар қосылыстардың тәртібін нақты қарастыруды және қол жетімді есептеу әдістері көз қарасынан үлкен иілгіштікті қамтамасыз етуді ҚР ҚН EN көтермелейді.

Өрт кезіндегі қосылыстарды есептеудің ең таралған әдісі пассивті өртке қарсы қорғаныс жуандығы кем дегенде қосылатын элементтер (болат және болаттемірбетон конструкция) үшін қолданылатын жуандықпен тең болуы тиіс. Бірақ осындай әдіс келесілерді қарастыруға жеткілікті емес:

- жалғасқан элементтерге қатысты салынған жүктеме дәрежесі;
- өртке байланысты үлкен деформацияларды тегістеуге қажетті тұтқырлық;
- мықтылық шегі бойынша шекті жағдай, бұл нақты өрт кезінде салқындау кезінде туындайтын созылудың үлкен күшіне қарсыласуды талап етеді.

### 13.2 Болат және болаттемірбетон қосылыстар

Салмақ көтеруші болат конструкциялардың қосылыстарында (немесе байламдарында) негізінен стандартты өлшемі бар бұрандалар мен стандартты жуандығы бар беттер қолданылады. Бұл есептеу үрдісін де, дайындау үрдісін де еңілдетеді. Жалпы, жүктелген арқалықтардан колонналарға моментті беру қабілеттілігіне байланысты қосылыстарды немесе номиналды топса ретінде немесе толығымен бекітілген деп жіктеуге болады. Нақтылында барлық қосылыстар біраз дәрежеде жартылай қатты болыа келеді – яғни, оларда аздап айналу қабілеттілігі және белігі бір дәрежеде бекітілу қабілеттілігі бар. Өрт кезінде қосылыстар тәртібінің бір қызықтырарлық аспектісі – өрт кезінде қосылыстар өздерін жартылай қатты зат сияқты ұсанатындығы. Один интересный аспект поведения соединения при пожаре – то, что соединения, ведут себя как полужесткие в случае пожара. ҚР ҚН EN – де жобалауға қатаң әдіс қабылданған, ол бойынша қосылыстар мықтылық және қаттылыққа сәйкес жіктеледі және жартылай мықтылық және жартылай қатты қосылыстар туралы түсініктер береді.

Өрт кезінде қосылыстарды есептеудің дәстүрлі әдісі қосылыстарға арналған жетерліктей пассивті өртке қарсы қорғанысты қамтамасыз етуі тиіс. Жалпы алғанда, ол дегеніміз жалғасқан элементтердегідей өртке қарсы жабынның біркелкі жуандығын білдіреді. Бірақ, қосылыстар байланысқан жерлерден қарағанда жоғарғы дәрежелі жүктемелермен жүктелуі мүмкін. Жүктеме дәрежесі отқа төзімділікпен байланысты болғандықтан, қосылысқа салынған пассивті өртке қарсы қорғаныс жеткілікті емес болуы мүмкін. Бұдан басқа, өрт кезіндегі шектік жағдайларға тән үлкен ауытқулар мен бұрылыстардың орнын толтыруға қосылыстардың тұтқырлығы жетерліктей емес болуы мүмкін. Темірбетонды жалғастыруға байланысты көптеген мәселелер осында да туындайды. Ең маңыздылары – қосылыстың бұрылу мүмкіндігі, жылулық кеңею эффектісі және оның себебінен туындайтын үлкен сығушы кернеулер мен салқындау кезеңінде созылуға жіберілетін көтеругі қабілеттілік.

Болат конструкцияларды есептеуге арналған екі әдіс өртке қарсы бөлімде (1993-1-2 ҚР ҚН EN) анықталған. Біріншісі 4.2.1 (6) Тармағында сипатталған жеңілдетілген үрдіс болып табылады, ол арқылы:

Бұрандалармен жабыстырылған немесе пісірілген қосылыстардың отқа төзімділігі келесі шарттарды орындаған жағдайда жетерліктей болады деп болжалған:

1) Қосылыстың өртке қарсы қорғанысының жылулық қарсылығы  $(d_f/\lambda_f)_c$ , жалғасатын элементтердің қайсы біріне қатысты өртке қарсы қорғаныстың жылулық қарсылығының  $(d_f/\lambda_f)_m$  минималды мәнінен үлкен болуы тиіс.

2) Қосылыстың салмақ көтеру қабілеттілігін қолдану коэффициенті, жалғасатын элементтердің қайсы біріне қатысты өртке қарсы қорғаныстың салмақ көтеру қабілеттілігінің минималды мәнінен үлкен болуы тиіс.

3) Ортаның қалыпты температурасы кезіндегі қосылыстың салмақ көтеру қабілеттілігі 1993-1-8 ҚР ҚН EN ұсыныстарын қанағаттандыруы тиіс.

1993-1-2 ҚР ҚН EN – ң D Қосымшасы байламдағы температураның бөлінуін есептеуге арналған балама әдісті қамтамасыз етеді. Температураның бөлінуін есептеп болғанан кейін, қоzaғалу кезіндегі салмақ көтеру қабілеттілігі, созылу және сығу кезіндегі

салмақ көтеру қабілеттілігі жоғары температура эффектісін есепкеру үшін төмендетуші коэффициенттерді қолдана отырып есептеледі.

Өрт кезінде қосылыстың температурасы 400 мм – ден аз биіктігі бар арқалықтар үшін есептелген:

$$\theta_h = 0,88 \cdot \theta_0 \cdot [1 - 0,3 \cdot (h/D)]$$

мұндағы  $\theta_h$  - болат арқалықтың  $h$  (мм) биіктігіндегі температура (°C);

$\theta_0$  - қосылыстан ажыратылған болат арқалықтың төменгі полкасындағы температура (°C);

$h$  - арқалықтың негізінен жоғары қарай өлшелген, қарастырылып отырған элемент биіктігі (мм);

$D$  - арқалықтың биіктігі (мм)

Егер арқалықтың биіктігі 400 мм – ден жоғары болса:

а)  $h \leq D/2$  –ден аз болғанда:

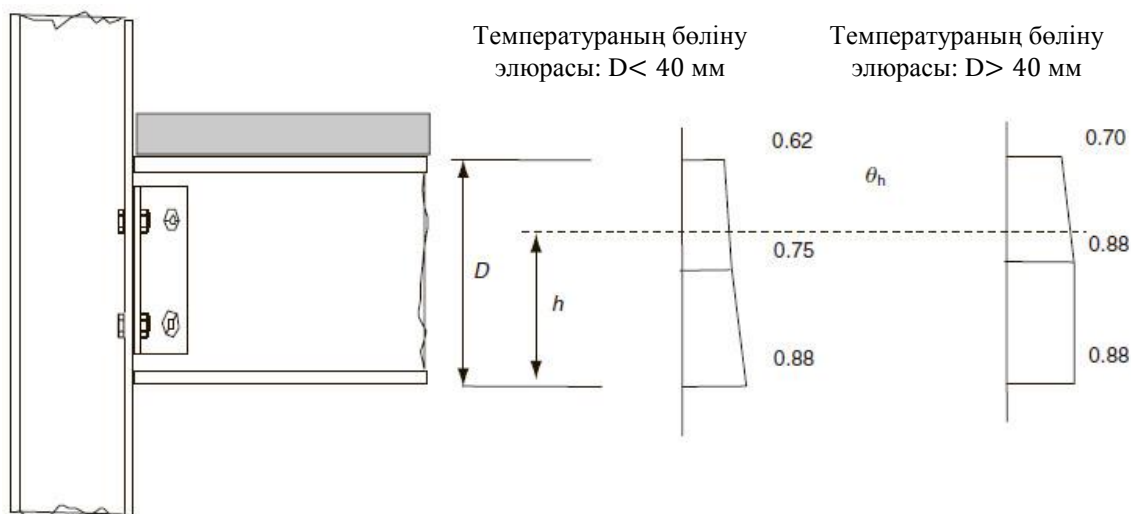
$$\theta_h = 0,88 \cdot \theta_0$$

б)  $h > D/2$  – ден көп болғанда:

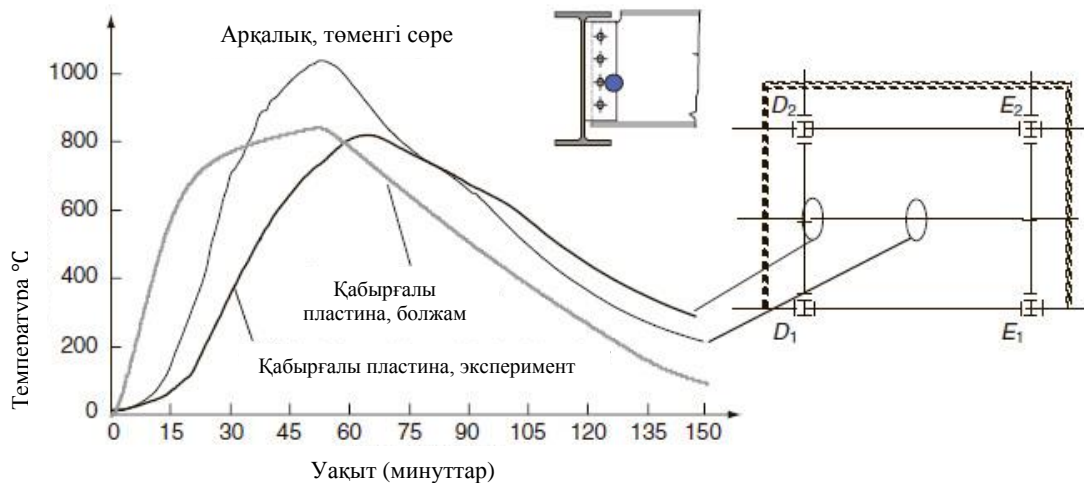
$$\theta_h = 0,88\theta_0 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1 - 2 \cdot h/D)]$$

Бұл жағдай 13.4 Суретінде көрсетілген.

Бұл әдістеме 13.5 Суретінде көрсетілген сынақтардың толықмасштабы нәтижелерімен расталған.

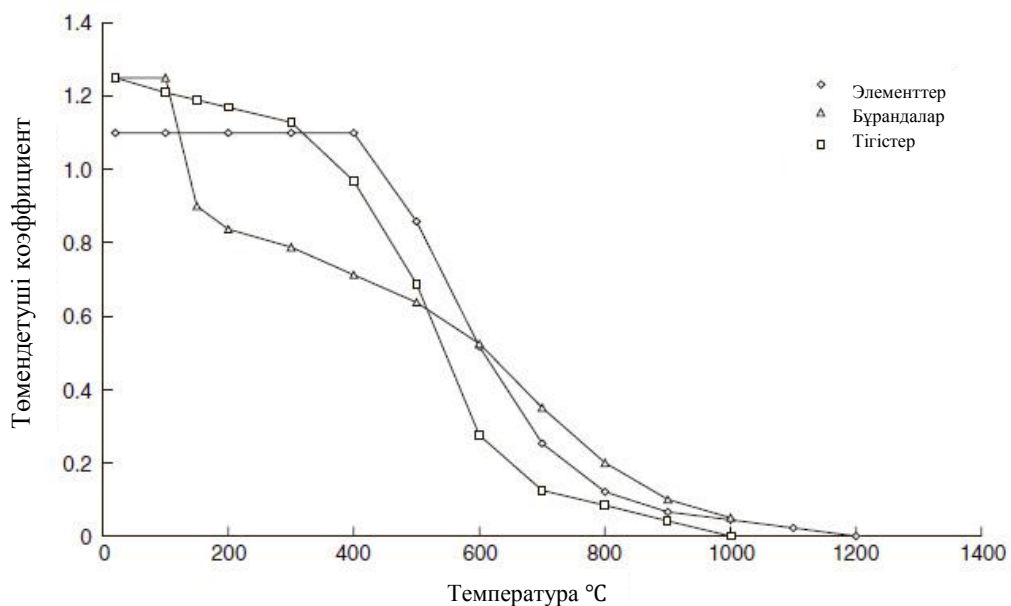


13.1 Сурет – Болаттемірбетон қосылыстың түбі аясындағы жылу градиенті



**13.2 Сурет – ҚР ҚН EN – дегі есеп пен сынақ нәтижелерін салыстыру**

Өзекті есептеу әдістеріндегі негізгі болжау – қосылыс компоненттері мен тіреуші элементтерді сол баяғы мықтылықты төмендету дәрежесі бар. 13.6 Суреті элементтерге, бұрандаларға және пісірілген тігістерге арналған мықтылықты төмендету коэффициенттерін салыстырады.



**13.3 Сурет – Элементтер, бұрандалар, пісірілген тігістерге арналған төмендетуші коэффициенттер**

Келтірілген суретте 350°C мен 1000°C аралығында пісірілген тігістердің мықтылығы байланыстырушы элементтердің мықтылығынан тез төмендейтіндігі көрінеді. Сол сияқты 100°C мен 600°C аралығында бұрандалардың мықтылығы байланыстырушы элементтер мықтылығынан тез азаятындығы көрінген.

Салынған жүктемеге қарсылыққа арналған ең қолайлы қосылыстар – бұл пісірім мен бұрандалардың комбинациясы. Сондықтан, өрт кезіндегі шекті ағдайда осы екі компоненттердің қайсысы жақсы болатындағын сенімді түрде айту қиын.



Бірақ, қосылыстағы температуралық профиль байланысқан элементтегіден айрықша болып келеді. Байланысқан элементтерден тасалау эффектілері мен қосылыстың орналасқан жерінде жылудың жоғарырақ санының комбинациясы арқылы қызу дәрежесін төмендетуге болады. Бұрандалар мен пісірілімдердің мықтылығының төмендеуіне байланысты ыңғайсыздықтар қосылыстардың жылу градиентін төмендетумен байланысты артықшылықтарымен жоғарлайды деген қорытындыға келуге болады. Сондықтан, ҚР ҚН EN – де толық айтылған қарапайым ережелер қауыпсыздіктің бар дәрежелерін төмендетпейді.

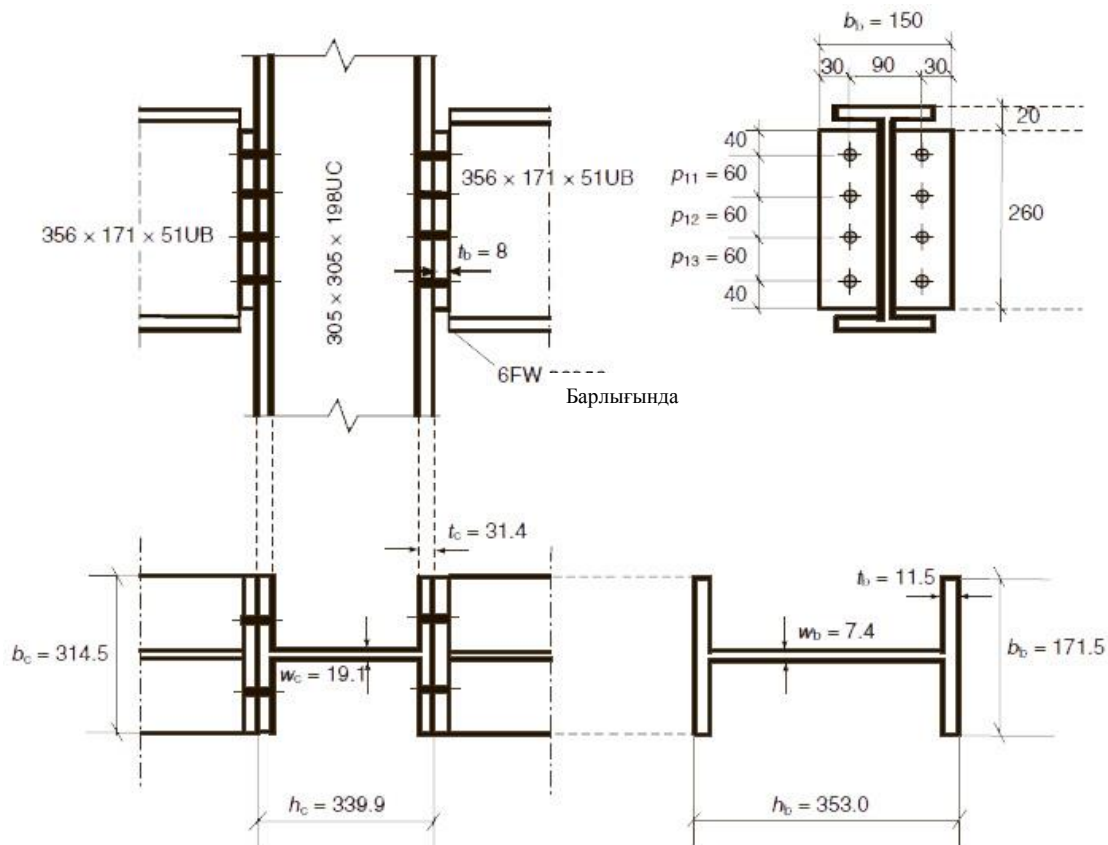
#### 9 МЫСАЛ Арқалықты колоннамен жалғастыру

##### 1) Бастапқы деректер

13.7 және 13.8 Суреттерінде көрсетілген, арқалық пен колоннаны байланыстыру есептеледі.

##### 2) Есептеу үрдісі

1993-1-2 ҚР ҚН EN – де бұрандалармен жабыстырылған немесе пісірілген қосылыстарға арналған екі әдістеме келтірілген. Біріншісі, байламның отқа төзімділі байланыстырылған элементтің біріне тең немесе одан көп деп болжауға негізделген. Жалпы алғанда бұл – консервативті әдіс, себебі байланыстың температурасы арқалықтардың бірінің температурасынан аз екендігі белгілі. Бірақ, элементті пайдаланумен салыстыра отырып қосылысты қолдануды қарастыру қажет.

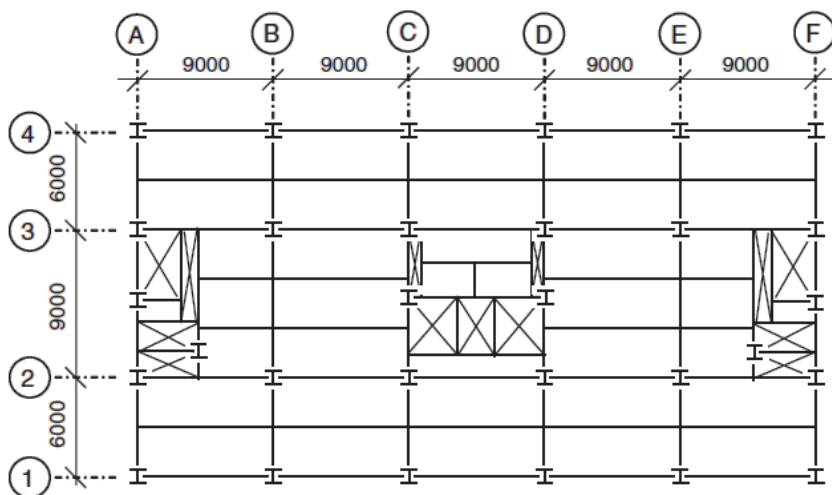


Бұрандалар:

Негізгі арқалықтар: S355; Колонна: S355

Жабын: A43 (=S275)

#### 13.4 Сурет – Арқалықты колоннаға байланыстыруша бас қосылыстың тетігі (барлық өлшемдер мм – мен)



13.5 Сурет – Еденнің орналасуы (барлық өлшемдер мм – мен)

Байламының салмақ көтеру қабілеттілігін 1993-1-2 ҚР ҚН EN–ң D Қосымшасына сәйкес бағалауға болады, ол арқылы компоненттердің температурасы есептеледі және төмендетуші коэффициенттер байламның салмақ көтеруші қабілеттілігін анықтайды.

13.8 Суретінде белгіленген E1 орнындағы қосылыс ескеріледі.

Жүктеме:

- Өрт кезінде шекті жағдайдағы әсердің мәні 13.1 Кестесінде есептелген.
- Есептің мақсаттары үшін жартылай жүктеме бөлектелген бөліктерді ескеру үшін қосымшаланған дп жіктеледі. Өрт кезіндегі шекті жағдай үшін жартылай жүктеме тұрақты жүктемеге қосылған.

13.1 Кесте – Өрт кезіндегі шекті жағдайдың әсері

Жүктеме табиғаты	Мәні (кН/м <sup>2</sup> )
Болаттемірбетон плитасы	2,06
Конструктивті болаттың киығы	0,25
Фальшеден	0,40
Эксплуатациондық	0,25
Төбе	0,15
Таса	1,00
Қосымшаланған	2,50

Тұрақты әсерлер (G):

- Біркелкі бөлінген жүктеме,  $G_k = 3,11 \text{ кН/м}^2$  (4,11 кН/м<sup>2</sup> өрт кезіндегі шекті жағдай )

Ауыспалы әсерлер (Q):

- Біркелкі бөлінген жүктеме  $Q_k = 3,50 \text{ кН/м}^2$  (2,5 кН/м<sup>2</sup> өрт кезіндегі шекті жағдай)

Жүктеме коэффициенттері – қалыпты температура:

- Тұрақты әсерлерге арналған сенімділік коэффициенті:  $\gamma_g = 1,35$
- Ауыспалы әсерлерге арналған сенімділік коэффициенті:  $\gamma_Q = 1,50$  (1990 ҚР ҚН EN, A1.2 (B) Кестесі)

Жүктеме коэффициенті – өрт кезіндегі шекті жағдай:

- Өрт кезіндегі шекті жағдайларға арналған жүктеме бойынша сенімділік коэффициенттері  $\gamma_i$  қайсы болсын тұрақты немесе ауыспалы әсерлерге қосымшаланған болып табылмайды.

- Ауыпалы әсерлерге арналған үйлесі коэффициенті  $\psi_1 = 0,50$  (1990 ҚР ҚН EN, А1.3 Кестесі)

Қалыпты температура кезіндегі әсердің есептік мәні:

- Салмақ көтеру қабілеттілігі бойынша бірінші шекті жағдай

$$F_{Ed} = (\gamma_G \cdot G_k) + (\gamma_Q \cdot Q_k) = 9,45 \text{ кН/м}^2$$

- Негізгі арқалықтағы есептік момент:

$$M_{Ed} = (R \cdot l)/4$$

мұндағы  $R$  - сетканың Е1 және Е2 сызықтары арасындағы негізгі арқалыққа екінші дәрежелі арқалықтардың қарқасының соңы реакциялары:

$$R = [(l/2) \cdot L \cdot F_{Ed}] = 255,1 \text{ кН}$$

Сондықтан:

$$M_{Ed} = (R \times l)/4 = 382,66 \text{ кНм}$$

Есептік көлденең күш – негізгі арқалық

Негізгі арқалықтың соңындағы реакцияға тең есептік көлденең күш.

$$V_{Ed} R/2 = 127,6 \text{ кН}$$

Өрт кезінде шекті жағдайдағы әсердің есептік мәні

- Бірінші шекті ағдайдың салмақ көтеру қабілеттілігі бойынша апаттық есептік жағдайы

$$F_{Ed,fi} = G_k + (\varphi_1 \times Q_k) = 5,36 \text{ (СН РК EN 1990, Таблица А1.3)}$$

Есептік момент – негізгі арқалық

Негізгі арқалықтағы есептік момент тең:

$$M_{Ed,fi} = (R_{fi} \cdot l)/4$$

мұндағы  $R_{fi}$  - сетканың Е1 және Е2 сызықтары арасындағы негізгі арқалыққа екінші дәрежелі арқалықтардың қарқасының соңы реакциялары:

$$R_{fi} \cdot [(l/2) \cdot L \cdot F_{Ed,fi}] = 144,7 \text{ кН}$$

Сондықтан:

$$M_{Ed,fi} = (R_{fi} \cdot l)/4 = 217 \text{ кНм}$$

Есептік көлденең күш – негізгі арқалық

Негізгі арқалықтың соңындағы реакцияға тең есептік көлденең күш

$$V_{Ed,fi} = R_{fi}/2 = 72,3 \text{ кН}$$

1 Әдіс:

$$(d_f/\lambda_f)_c \geq (d_f/\lambda_f)_m \quad (4.2.1 (6) \text{ Тармағы})$$

мұндағы  $(d_f/\lambda_f)_c$  - оттан қорғаушы материал жуандығы мен қосылысқа арналған оттан қорғаушы материалдың жылу өткізгіштігі арасындағы қатынас;

$(d_f/\lambda_f)_m$  - оттан қорғаушы материал жуандығы мен қосылған элементке арналған оттан қорғаушы материалдың жылу өткізгіштігі арасындағы қатынас.

Қосылыстың салмақ көтеру қабілеттігі – қалыпты температура кезіндегі есеп

Қосылыстар (Е1) қалыпты температурада қалыпты сүйенген деп есептелген және оның қолданылуын қалыпты температурада тексерген жөн. Қосылыстың қозғалудағы салмақ көтеру қабілеттілігін қарапайым қосылыстарда бағалауға болады.

## 13.2 Кесте – Бүйіржақ пластинаның қозғалуы және рұқсат етілген жүктеме

Салмақ көтеру қабілеттігін тексеру	Формула	Салмақ көтеру қабілеттігі (кН)
Бұрандалар тобын қозғалтудағы салмақ көтеру қабілеттігі ( $F_v \leq \sum P_s$ )	$\sum p_s A_s$ (немес $0.5 \cdot k_{bs} \cdot e_1 \cdot t_p \cdot p_{bs}$ ) бұрандалардың жоғарғы қатары үшін	699
Бүйіржақ пластинасын қозғалтудағы салмақ көтеру қабілеттігі ( $F_v/2 \leq P_v$ )	Минимум ( $0.6 \cdot p_y \cdot A_v, 0.7 \cdot p_y \cdot K_e \cdot A_{vnet}$ )	270
Блокты қозғалту ( $F_v/2 \leq P_r$ )	$0.6 \cdot p_y \cdot t_p \cdot [L_v + K_e \cdot (L_t - k \cdot D_h)]$	320
Салмақ көтеру қабілеттігі ( $F_v/2 \leq P_{bs}$ )	$k_{bs} \cdot d \cdot t_p \cdot p_{bs}$	294
ЕСКЕРТПЕ $F_v$ – есептік көлденең күш, ол 1993 ҚР ҚН EN – тен $aV_{Ed}$ – ге тең болады.		

Сондықтан қосылысты қолдану коэффициенті

$$(V_{Ed}/2)/270 = 0,236$$

Бұл мәнде колоннамен жалғастырылған арқалықты қолдану коэффициентімен салыстыру қажет.

Негізгі арқалықтардың салмақ көтеру қабілеттігі – қалыпты температура кезіндегі есеп.

Болаттемірбетон негізгі арқалықтың салмақ көтеру қабілеттігінің моменті:

$$M_{c,Rd} = 515 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Сондықтан арқалықты пайдалану коэффициенті:

$$M_{Ed}/M_{c,Rd} = 0,74$$

мұндағы  $M_{Ed}$  – бұрын анықталған есептік момент.

Өртке қарсы қорғаныстың жуандығын анықтау

Егер арқалықты пайдалану коэффициенті қосылысты пайдалану коэффициентінен жоғары болса, қосылыстың өртке қарсы қорғанысы кем дегенде арқалықтағыдан аз еместігіне сенімді болуға жеткілікті.

Арқалықтың қорғаудың сәйкес жуандығын және жылу өткізгіштігін таңдап алуды қорғалған болат бұйымдар бойынша 4 Тарауда сипатталған есептеу процедуралары негізінде жүргізуге болады.

- 2 Әдіс:

1993-1-2 ҚР ҚН EN – ң D Қосымшасында қосылыс аясында температураның бөлінуін анықтауға арналған әдіс келтірілген. Бұл әдісті жеке компоненттердің орналасу орнына сәйкес келетін төмендетуші коэффициенттерді алуға қолдануға болады.

Бірінші кезде жалғастырылған арқалықтың төменгі полкасының температурасының көтерілуі есептеледі. Осы мысал үшін отқа төзімділіктің қажетті кезеңі 60 минута деп болжалған және қолданылатын қосымшаланған пассивті өртке қарсы қорғаныс арқалықтың үш жағына жабсырылған 20-миллиметрлік гипс плитасы болады деп болжалған. Қорғалған элементтерге арналға сәйкес формула:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p \cdot A_p/V}{d_p \cdot c_a \cdot \rho_a} \cdot \frac{\theta_{g,t} - \theta_{a,t}}{1 + \frac{\Phi}{3}} \cdot \Delta t - (e^{\Phi/10} - 1) \cdot \Delta\theta_{g,t} \quad \Delta\theta_{g,t} \geq 0$$

және

$$\Phi = \frac{c_p \cdot \rho_p}{c_a \cdot \rho_a} \cdot d_p \cdot \frac{A_p}{V} \quad (6.2.5.2(1) \text{ Тармағы, (6.27) Формуласы})$$

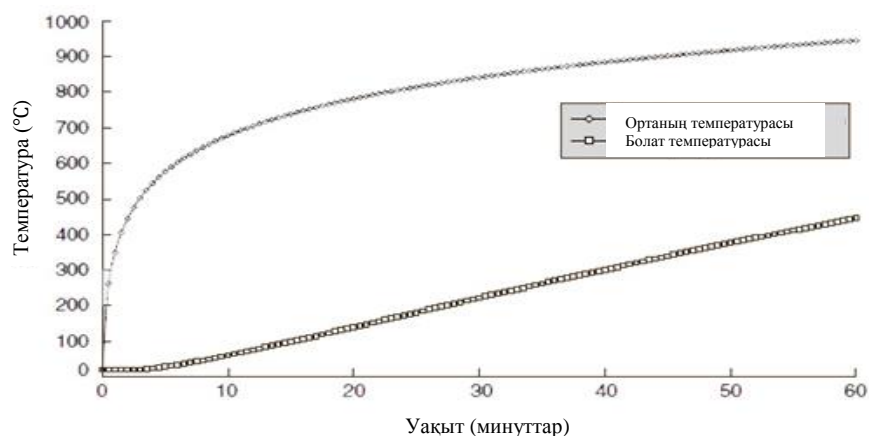
мұндағы  $A_p/V$  - қорғалған болат элементке арналған қима коэффициенті ( $136 \text{ м}^{-1}$ );

- $c_a$  - температураға тәуелді, болаттың салыстырмалы жылу сиымдылығы (600 Дж/кг · К);  
 $c_p$  - қорғаушы материалдың салыстырмалы жылу сиымдылығы (1700 Дж/кг · К);  
 $d_p$  - өртке қарсы қорғаныстың жуандығы (0,02 м);  
 $\theta_{a,t}$  -  $t$  уақыты кезіндегі болаттың температурасы (°C);  
 $\theta_{g,t}$  -  $t$  уақыты кезіндегі қоршаған ортаның температурасы (°C);  
 $\Delta\theta_{g,t}$  -  $\Delta t$  уақыттың дымы бойынша қоршаған орта температурасының жоғарлауы (°C);  
 $\lambda_p$  - оттан қорғаушы материалдың жылу өткізгіштік коэффициенті (0,2 Вт/м · К);  
 $\rho_a$  - болаттың тығыздығы (7850 кг/м<sup>3</sup>); және  
 $\rho_p$  - қорғаныс материалының тығыздығы (800 кг/м<sup>3</sup>).

Сондықтан:

$$\Phi = 0,7854$$

Стандартты өрт үшін және көрсетілген қорғаныс материалы үшін болат арқалықтың температурасы 445°C деп есептелді. Температуралық – уақыттық тәуелділік 13.6 Суретінде көрсетілген.



**13.6 Сурет – Негізгі арқалықтың температурасы (356 × 171UB51)**

ЕСКЕРТПЕ Бұл қатты тиімді жобалық шешім болып табылмайды. Жобалаушы өртке қарсы қорғанысты рационализациялау болат арқалықтың максималды температурасын көбейтеді деп ойлауы мүмкін.

Мұнда арқалықтың биіктігі аз немесе 400 мм – ге тең, сондықтан:

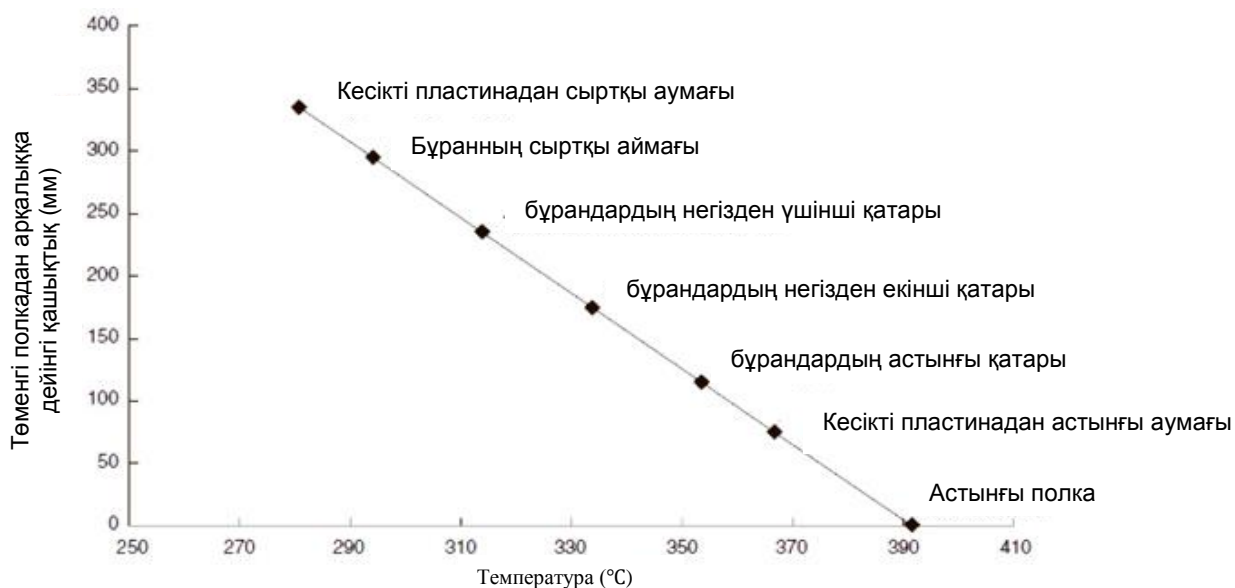
$$\theta_h = 0,88 \cdot \theta_0 \cdot [1 - 0,3 \cdot (h/D)] \quad (D3.1 (4a))$$

мұндағы  $\theta_h$  - болат арқалықтың  $h$  (мм) биіктігіндегі температура (°C);

$\theta_0$  - бойының ортасындағы болат арқалықтың төменгі полкасындағы температура (445 °C);

$h$  - арқалықтың төменгі жағына байланысты элементтің қарастырылатын биіктігі (мм);

$D$  - арқалықтың биіктігі (мм) (355 мм).



**13.10 Сурет – Қосылыс арқылы температураны қайта бөлу**

13.7 Суретінде коитикалық компоненттердің температурасы граикалық түрде көрсетілген. Есептік мәндер 13.3 Кестесінде келтірілген.

5.1 Кестесінен алынған бұйрақ пластиналар мен колонналарға арналған немесе D.1 Кестесінен алынған жеке компоненттерге арналған төмендетуші коэффициенттерді алу үшін әр орналасқан жердегі температура қолданылады.

**13.3 Кестк – Критикалық компоненттердің температурасы**

Сипаттамасы	Төменгі полкаға дейінгі ара қашықтық (мм)	Температура (°C)
Болат арқалықтың төменгі полкасы	0	445
Қосылыстың маңындағы болат арқалықтың төменгі полкасы	0	392
Бүйіржақ ластинаның төменгі шеті	75	367
Бұрандалардың төменгі қатары	115	354
Негізден бастағандағы бұрандалардың 2-ші қатары	175	334
Негізден бастағандағы бұрандалардың 3-ші қатары	235	314
Бұрандалардың үстінгі қатары	295	294
Бүйіржақ пластинаның үстінгі қатары	335	281

Жоғарғы температураларға арналған негізгі тексерулер төмендетуші коэффициенттерді қолдана отырып қайталанады және өрт кезіндегі шекті жағдайда жүктелген азайтылған жүктемемен салыстырылды. Бұл жағдайда есепте көлденең күш өрт кезінде шекті жағдайдағы жүктеме бойынша коэффициенттерге сәйкес төмендетілетін болады.

Жеке компоненттерге арналған төмендетуші коэффициенттер нәтижесінде 13.4 Кестесінде жиналды, және салмақ көтеру қабілеттілігін сәйкес тексеру нәтижесінде 13.5 Кестесінде жиналған.

Өрт кезіндегі шекті жағдайда қосылысты қолдану:

$$(V_{Ed,fi}/2)/270 = 0,14$$

13.4 Кесте – Төмендетуші коэффициенттер

Компонент	Төмендетуші коэффициент
Бүйіржақ пластина	1,0
Бұрандалардың төменгі қатары	0,83
Негізінен бастағандағы бұрандалардың 2-ші қатары	0,885
Негізінен бастағандағы бұрандалардың 3-ші қатары	0,86
Бұрандалардың жоғарғы қатары	0,933

Бұл мысалдаға қалыпты температура кезіндегімен салыстырғанда өрт кезіндегі шекті жағдайда қосылыстар аз қолданылады. Мұның себебі жүктелген жүктемені өрт кезіндегі шекті жағдайда төмендету, қосылыс компоненттері материалдарының қасиеттерін төмендетуден жоғары болады.

13.5 Кесте – Жоғары температурас кезіндегі салмақ көтеру қабілеттігі

Салмақ көтеру қабілеттігі тексеру	Формула	Салмақ көтеру қабілеттігі (кН)
Бұрандалар тобын қозғалтудағы салмақ көтеру қабілеттігі ( $F_v \leq \sum P_s$ ) $\cdot k_b$	Бұрандалардың жоғарғы қатарлары үшін $\sum p_s \cdot A_s \cdot k_b$ (немесе $k_b \cdot 0.5 \cdot k_{bs} \cdot e_l \cdot t_p \cdot p_{bs}$ )	611
Бүйіржақ пластинаны қозғалтудағы қарапайым салмақ көтеру қабілеттігі ( $F_v/2 \leq P_v$ ) $\cdot k_{y\theta}$	Минимум ( $k_{y,\theta} \cdot 0.6 \cdot p_y \cdot A_v$ , $0.7 \cdot p_y \cdot K_e \cdot A_{vnet}$ )	270
Блокты қозғалту ( $F_v/2 \leq P_r$ ) $\cdot k_{y\theta}$	$k_{y,\theta} \cdot 0.6 \cdot p_y \cdot t_p \cdot [L_v + K_e \cdot (L_t - k \cdot D_h)]$	320
Салмақ көтеру қабілеттігі ( $F_v/2 \leq P_{bs}$ ) $\cdot k_b$	$\sum k_b \cdot k_{bs} \cdot d \cdot t_p \cdot p_{bs}$	258
ЕСКЕРТПЕ $F_v$ – 1993 ҚР ҚН EN -тен алынған $V_{Ed,fi}$ тең болатын есептік көлденең күш.		

## 14 ЖАЛПЫ СҰРАҚТАР

### 14.1 Кіріспе

Конструктивті ҚР ҚН EN-дегі есептік әдістемелер өрт кезінде конструкцияны есептеуді жеңілдетудің негізі болады.

Есептеу әдістері өрт кезіндегі конструкцияларды инженерлік жобалауға арналған рационалды негіздемені қамтамасыз етеді, және инженерлер, архитекторлар мен соңғы қолданушылар үшін жаңа конструкцияларды есептеуге байланысты жоғарғы иілгіштікті қамтамасыз етеді.

Жалпы алғанда, осы жоғарлатылған иілгіштікке конструкторлық ойлампаздықты көбейту есебінен қол жеткізілген. Құрылыстық өртке қарсы жобалау табиғиат пен жүктеме эффектілеріне, сәйкес келетін салмақ көтеру қабілеттілікті қамтамасыз ететін заттарға деген әдістердің кең спектрін қамтиды. Бір жағынан, өрт кезінде конструкцияға әсер ететін өрт эффектісі мен жүктемелерді жеңіл түрде бағалауға негізделген кестелерге

деген сенімділік бар. Ал тағы бір жағдайда жобалаушы гидродинамиканың күрделі есептеу әдістерін қолдана отырып өрттің үлгісін жасай алады және соңғы-элементтің әдіс көмегімен сызықтық емес есепті қолдана отырып барлық ғимараттардың анализін жүргізе алады. Қабылданған жобалық шешім жобаның ерекше жағдайларына, тапсырыс беруші мен бақылаушы органдардың талаптарына тәуелді болады. Өрт кезін конструкцияны есептеудің күрделі әдісін тандап алудың қаржылық сұрақтарын қарастыру қажет. Осындай әдістер қауіпсіздіктің материалдық немесе кеңейтушілік дәрежелерінде елеулі жинақ ақшаларды талап ететін жерлерде өздерін ақтай алады. Жалпы айтқанда ұсыныстың мәні келесіде, ғимараттың талаптарына сай келетін ең қарапайым әдісті қолдану.

Отқа төзімділікті минималды талаптары ғимартта адамдардың және өрт қызметінің адамдарының өміріне қауіпсіздікті қарастыруға негізделген. Жеке меншікті қорғау, қоршаған орта мен бизнесті қорғау сияқты басқа мәселелер қарастырылмайды.

#### **14.2 Сәйкес келетін есептеу әдісін тандаудағы басшылық**

Есептеу әдістерінің күрделілігі көз қарасынан алғандағы иерархия – жеңілдетілген есептеу әдістері бар кестеге жинақталған мәліметтер, және бұдан әрі жоғарлатылған есептеу әдістері болады. Жобалаушы үшін кестелік әдіс ең бірінші аялдама болуы тиіс. Есептеудің жеңілдетілген әдістері болат және болаттемірбетоннан жасалған ғимарттар үшін, және конструкцияны жаңарту отқа төзімділіктің жаңа категориясына әкелетін темірбетоннан жасалған ғимараттарға сай болып табылады. Есептеу әдістерін ерекше жағдайларда конструкцияның қалай жұмыстайтындығын көрсету үшін қолдануға болады және олар белгілі бір жағдайларда елеулі жинақ ақшаны сақтап қалуды қамтамасыз ете алады. Есептеудің ілгерлетілген әдістерін (соңғы элементтің сызықтық емес моделі) өте күрделі конструкция болғанда және Ұлттық нұсқаманың ережелі қолданылмайтын жағдайларды қолданылады. Сондай конструкциялардың мысалы ретінде спорт стадиондарын, көрме залдарын және аэропорттарды келтіруге болады.



**А Қосымшасы**  
(*ақпараттық*)

**Болуы мүмкін өрттің әсерін ескере отырып болат конструкцияларды жобалау кезінде қолданылатын қосымша терминдер, анықтамалар, белгілеулер және қысқартылған сөздер**

**А.1 Кестесі – 1991-1-2 ҚР ҚН EN және 1993-1-2 ҚР ҚН EN–нен алынған терминдер**

Көрсеткіш/термин	Анықтамасы	Символы	Бірлігі
Өрттің жалпы моделі (advanced fire model)	Масса мен энергияның балансы теңдеулеріне негізделген өрттің есептік моделі.	—	—
Құрамдық қиық мәнінің (келтірілген жуандық) коэффициенті (boxvalueofsectionfactor)	Контур бойынша шектеуші құрамдық қиықтың елестетілген үшбұрышының қыздырылатын бетінің ауданы мен болаттың көлемі арасындағы қатынас.	$(A_m/V)_b$	$m^{-1}$
Көміртеккі болат (carbonsteel)	1993-1-1 ҚР ҚН EN–ге сәйкес болат маркалары, оған тот баспайтын болат кірмейді.	—	—
Жанудың толықтық коэффициенті (combustionfactor)	Жанудың толықтығын көрсететін коэффициент және 1–ден (толық жану) 0–ге (жанудың жоқ болуы) жейін аралығында болады	m	—
Есептеуші газодинамикалық модел (computationalfluiddynamicmodel)	Жеке туындылардағы дифференциялық теңдеулерді сандық шешуге негізделген өрттің моделі, және ол өрт отсегінің барлық нүктелеріндегі термодинамикалық және аэродинамикалық өзгерістерді анықтауға мүмкіндік береді.	—	—
Сәулеге шалдығудың бұрыштық коэффициенті (configurationfactor)	А жазықтығынан В жазықтығына жылуды шашырату арқылы беруге арналған сәулеге шалдығу коэффициенті, және ол В жазықтығы алған энергияның А жазықтығы диффузді таратқан энергияға қатынасымен анықталады.	Ф	—
Конвекцияның жылу беру коэффициенті (convective heat transfer coefficient)	Конструкцияға жіберілетін жылудың конвективті ағыны, ол қоршаған орта температурасы мен конструкцияның бетінің температураларының айырмашылығымен анықталады.	$\alpha_c$	Вт/м <sup>2</sup> К

**А.1 Кестесі – 1991-1-2 ҚР ҚН ЕН және 1993-1-2 ҚР ҚН ЕН–нен алынған терминдер**  
(жалғасы)

Көрсеткіш/термин	Анықтамасы	Символы	Бірлігі
Конструкциялық болаттан жасалған конструкцияның критикалық температурасы (critical temperature of structural steel element)	Жүктеме – температураның берілген дәрежесіне арналған, қиық ауданы бойынша температура біркелкі бөлінген жағдайда конструкциялық болаттан жасалған конструкцияның шекті жағдайы болатыны күтіледі.	$\theta_{a,cr}$	°C
Есептік өрт (design fire)	Жобалау кезінде қабылданған өрттің даму сұлбасы.	—	—
Есептік салыстырмалы өрт жүктемесі (design fire load density)	Болуы мүмкін анық емессіздіктерді ескергендегі есептік өрттің жылулық әсерін анықтауға қолданылатын салыстырмалы өрт жүктемесі.	$q_{f,d}$ немесе $q_{t,d}$	МДж/м <sup>2</sup>
Өрттің есептік сценарийі (design fire scenario)	Есептік анализге қабылданған өрт сценарийі, ол үшін есеп жүргізіледі.	—	—
Аққыштықтың есептік шегі (effective yield strength)	Белгіленген температураға арналған кернеу мәні, бұл кезінде болатты деформациялау диаграммасы аққыштық ауданына алмасады.	$f_{y,\theta}$	Н/мм <sup>2</sup>
Қаралық дәрежесі (emissivity)	Жазықтықтың сіңіру қабілеттілігінің сипаттамасы, ол келтірілген жазықтық сіңіріп алған жылу мен абсолюті қара дененің беті сіңіріп алған жылу арасындағы қатынасқа тең.	$\varepsilon$	—
Өрттің эквивалентті жалғасу ұзақтығы (equivalent time of fire exposure)	Бөлмеде нақты өрт кезіндегідей жылулық әсер болатындай стандартты температуралық режиммен сипатталатын өрттің жалғасу ұзақтығы.	$t_{e,d}$	минута

**А.1 Кестесі – 1991-1-2 ҚР ҚН ЕН және 1993-1-2 ҚР ҚН ЕН–нен алынған терминдер**  
(жалғасы)

Көрсеткіш/термин	Анықтамасы	Символы	Бірлігі
Сыртқы өрттің температуралық режимі (external fire curve)	Қарастырылатын сыртқы қабырғаға қатынасы бойынша төмен/жоғары орналасқан бөлмелердің немесе күтілетін өрті бар бөлмелердің фасадының әр түрлі бөліктерінен шығатын өрттің тура әсерінің астына қала алатын сыртқы қабырғалардың сыртқы беттері үшін қолданылатын температуралық–уақыттық номиналды тәуелділік.	—	—
Сыртқы конструкция (external member)	Ғимарттың сыртында орналасқан конструкция, бұл конструкция оның қоршаушы конструкцияларындағы ойықтар арқылы өрттің әсерінің астында қалуы мүмкін.	—	—
Өрттің пайда болу тәуелділігі (fire activation risk)	Өрттің пайда болу ықтималдығын ескеретін көрсеткіш, және өрт отсегі мен бөлме тағайындалуының функциясы болып табылады.	—	—
Өрт секциясы (отсек) (fire compartment)	Бір немесе бірнеше қабат шегіндегі ғимараттағы тұйық кеңістік. Бұл кеңістік оның шектерінен өрт жайылуына кедергі жасайтын қалқалаушы конструкциялармен бөлінген.	—	—
Өрт жүктемесі (fire load)	Белгілі бір кеңістіктегі барлық жанғыш заттардың өртенуі кезінде бөлінетін жылу энергиясының суммасы (конструктивті элементтер мен ғимаратты ішкі жасбдықтаушылар).	$Q_{fi,k}$	МДж
Салыстырмал өрт жүктемесі (fire load density)	Еденнің аудан бірлігіне $q_f$ немесе барлық бөгеттер ауданының бірлігіне $q_t$ қатынастырған өрт жүктемесі, оның ішінде барлық ойықтар бар.	$q_f, q_t$	МДж/м <sup>2</sup>

**А.1 Кестесі – 1991-1-2 ҚР ҚН EN және 1993-1-2 ҚР ҚН EN–нен алынған терминдер**  
(жалғасы)

Көрсеткіш/термин	Анықтамасы	Символы	Бірлігі
Оттан қорғаушы материал (fire protection material)	Отқа төзімділікті жоғарлату мақсатында конструктивті элементке қолданылатын қандайда бір материал немесе материалдардың үйлесі.	—	—
Отқа төзімділік (fire resistance)	Конструктивті жүйе, оның бөлігі немесе бөлек конструкцияның, жүктеменің берілген дәрежесі кезіндегі регламенттелген өрттің анықталған жалғасу ұзақтығы бойы талап етілетін функцияны оныдай алу өабілеттілігі.	R/E/I	минута
Өрт сценарийі (fire scenario)	Осы өртті сипаттайтын және оның басқа болуы мүмкін өрттерден ажырататын негізгі жағдайлардың уақытын көрсете отырып өрт үрдісін сапалы түрде сипаттау. Әдетте сценарий өрттің жалындау және даму үрдістерін, өрттің жүруіне әсер ететін ғимараттың жүйелері мен жабыдықтарына байланыстыра отырып өрттің даму және сөну кезеңдерін сипаттайды.	—	—
Өртке қарсы қабырға (firewall)	Болуы мүмкін горизонталды жүктемелердің әрекеттерін, оның ішінде жалғасқан құрылыс конструкциялардың бір жакқа құлағандағы әсерін ескергендегі қажет отқа төзімділігі және конструктивті тұрақтылығы бар ғимараттың (екі ғимараттың) екі бөлігінің арасындағы қабырға.	—	—
Көлемді жалындау (flash-over)	Бөлмедегі барлық өрт жүктемесінің бірмезетте жалындауы.	—	—
Дамыған өрт (fully developed fire)	Анықталған кеңістіктің шегіндегі барлық жанғыш жазықтықтардың толығымен өртке қатысу кезеңі.	—	—

**А.1 Кестесі – 1991-1-2 ҚР ҚН ЕН және 1993-1-2 ҚР ҚН ЕН–нен алынған терминдер**  
(жалғасы)

Көрсеткіш/термин	Анықтамасы	Символы	Бірлігі
Өрт кезіндегі конструктивті жүйенің жалпы анализі (global structural analysis (for fire))	Өрттің толық немес жартылай әсерінде болған конструктивті жүйенің жалпылай анализі. Өрттің тура емес әсерлер барлық конструктивті жүйеге ескеріледі.	—	—
Көмірсутектер өртінің температуралық режимі (hydro carbon fire curve)	Көмірсутек типті өрт кезіндегі әсерді бағалауға арналған номиналды температуралық – уақыттық тәуелділік.	—	—
Өрттің тура емес әсерлері (indirect fire actions)	Температуралық кеңеюден туындаған	Әр түрлі	Әр түрлі
Жылуды оқшаулау қабілеті (insulation (I))	Біржақты от әсері кезіндегі оқшаулаушы конструкцияның анықталған дәрежеден жоғары қыздырылмайтын беттің температурасының өсуін шектеу қабілеті.	—	—
Тұтастық (integrity (E))	Біржақты от әсері кезіндегі оқшаулаушы конструкцияның қыздырылмайтын бетке жалын және жану өнімдері кіруінің алдын алу қабілеттілігі.	—	—
Салмақ көтеру қабілеті (load bearing function (R))	Конструктивті жүйенің немесе бөлек конструкцияның өрт кезінде берілген көрсеткіштерге сәйкес анықталған әсерлерді көтере алу қабілеттілігі.	—	—
Локалды өрт (localized fire)	Бөлмедегі өрт жүктемесінің шектеулі ауданын қамтитын өрт.	—	—
Бөлек конструкция (member)	Қабырғалас шарттары мен тірелу сұлбасын ескере отырып жеке қарастыруға болатын конструктивті жүйенің негізгі элементі (мысалы, арқылық, колонна, сонымен қатар фермалар және т.б. сияқты жинақталған конструкция).	—	—

**А.1 Кестесі – 1991-1-2 ҚР ҚН ЕН және 1993-1-2 ҚР ҚН ЕН–нен алынған терминдер**  
(жалғасы)

Көрсеткіш/термин	Анықтамасы	Символы	Бірлігі
Өрт кезіндегі бөлек конструкция анализы (member analysis (for fire))	Өрт әсері жағдайларында қабырғалас шарттары мен тірелу сұлбасына сәйкес келетін жеке қарастырылатын конструкцияның жылу техникалық және статикалық есептері. Температуралар айырмасынан туындайтын өрттің тура емес әсерінен басқа әсерлер қарастырылады.	—	—
Нәтижелеуші жылу ағыны (net heat flux)	Ауданы бірілігіне қатынастырған конструкция жұтқан энергия.	$H_{\text{net}}$	Вт/м <sup>2</sup>
Қалыпты температура кезіндегі есеп (normal temperature design)	1992 ҚР ҚН ЕН – 1996 ҚР ҚН ЕН немесе 1999 ҚР ҚН ЕН сәйкес қоршаған орта температурасы кезінде конструкцияны есептеу.	—	—
Бір зоналы модель (one-zone model)	Бөлмедегі температураның орташа мәнін қолдануға негізделген өрт моделі.	—	—
Қуыстылық коэффициенті (opening factor)	Қабырғалардағы қуыстардың ауданы, қуыстардың биіктігі және қалқалаушы беттердің жалпы ауданына тәуелді коэффициент, ол бөлмені желдету шартын көрсетеді.	O	м <sup>1/2</sup>
Конструктивті жүйенің бөлігі (part of structure)	Сәйкес келетін қабырғалас шарттары мн тірелу сұлбасы бар конструктивті жүйенің бөлек бөлігі.	—	—
Жылу ағынының күші (rate of heat release)	Уақыт функциясындағы заттар мен материалдардың жануы кезінде бөлінетін жылу (энергия).	Q	Вт
Қима коэффициенті (келтірілген жуандық) (section factor)	Болат конструкциялар үшін – қыздырылатын бет ауданы мен болат көлемі арасындағы қатынас; жабық конструкциялар үшін – қыздырылатын конструкцияның ішкі бетінің ауданы мен болат көлемінің арасындағы қатынас.	$A_m/V$	м <sup>1/2</sup>

**А.1 Кестесі – 1991-1-2 ҚР ҚН ЕН және 1993-1-2 ҚР ҚН ЕН–нен алынған терминдер**  
(жалғасы)

Көрсеткіш/термин	Анықтамасы	Символы	Бірлігі
Қоршаушы конструкция (separating element)	Өрт отсегі қоршауының бөлігін құрайтын салмақ көтеретін немесе көтермейтін конструкция (қабырға).	—	—
Қоршау қабілеттілігі (separating function)	Қршаушы конструкцияның қыздырылатын беттен өрт немесе жалынның таралуының алдын алу қабілеті (оның ішіне бүтінділік (Е) және жылу жылу оқшаулау қабілеттілігі (І)).	—	—
Өрттің қарапайым моделі (simple fire model)	Физикалық көрсеткіштердің қабылданған шектеулі санына негізделген есептік өрт.	—	—
Тот баспайтын болат (stainless steel)	1993-1-4 ҚР ҚН ЕН–де келтірілген болаттардың барлық маркалары.	—	—
Стандартты отқа төзімділік (standard fire resistance)	Конструктивті жүйенің, оның бөлігінің немесе әдетте бөлек конструкцияның стандартты температуралық режиммен анықталатын жылу әсерлері жағдайында анықталған уақыт ішінде жүктемелердің үйлесімі кезіндегі талап етілетін көтеруші және/немесе оқшаулаушы функцияны орындай алу қабілеттілігі.	—	—
Стандартты температуралық режим (standard temperature-time curves)	13501-2 EN – мен анықталған, ғимараттағы дамып келе жатқан өрт моделінің сипаттамасы үшін қабылданған номиналды температуралы–уақыттық тәуелділік.	—	—
Конструкциялар (structural members)	Конструктивті жүйенің салмақ көтеруші элементтері, оның ішінде байланыстар да бар.	—	—
Жылтехникалық есеп (temperature analysis)	Жылулық әсерлер (жылу ағыны), материалдардың жылутехникалық қасиеттерін және, қажет болған жағдайда қоғаушы беттердің қасиеттерін ескере отырып конструкциялардағы температураның өсуін анықтау әдістері.	—	—

**А.1 Кестесі – 1991-1-2 ҚР ҚН ЕН және 1993-1-2 ҚР ҚН ЕН–нен алынған терминдер**  
*(жалғасы)*

Көрсеткіш/термин	Анықтамасы	Символы	Бірлігі
Жылулық әсерлер (thermal actions)	Конструктивті жүйеге әсер ету, олар конструкцияларға қарай жылжитын жылу ағыны моделі көмегімен сипатталады.	—	—
Екізоналы модел (two-zone model)	Бөлмедегі әр түрлі зоналарды анықтауға негізделген өрттің моделі: жоғарғы дәреже, төменгі дәреже, жалын және оның лақтырылуы, қоршаған орта және қабырғалар. Жоғарғы дәреже үшін температураның біркелкі бөлінуі қабылданады.	—	—
Температуралық режимде (temperature-time curves)	Қоршаған ортаның, конструкция бетінің уақытқа тәуелділігі. Келесідей түрлері бар: – номиналды: отқа төзімділікті жектеу және растауға икемдендірілген жалпы қабылданған тәуелділіктер (анықталған: стандартты температуралық режим, сыртқы өрттің температуралық режимі және көмірсутектер өртінің температуралық режимі); – параметрлік: өрт кезінде бөлмедегі шарттарды анықтайтын арнайы физикалық көрсеткіштер мен өрт моделдері негізінде анықталған тәуелділіктер.	—	—



**Б Қосымшасы**  
(ақпараттық)

**Отандық болат маркаларының аналогтары**

Аққыштық шегі мен уақытшы қарсылық шегінің нормативті мәндерін анықтау ақсатында отандық болаттардың аналогтарын таңдау үшін Б.1 Кестесін қолдануға рұқсат берілген.

**Б.1 Кестесі – Отандақ болат маркаларының және EN стандарты бойынша берілген болаттардың аналогы**

EN стандартына сәйкес болат		Отандық болат	
EN 10025-2-2004 (E)		ГОСТ 27772-88 бойынша аналог	
Болат маркасы	Материал нөмірі	Белгілеуі	Болат маркасы
S235JR	1.0038	C 235	Ст. 3 кл. 2; Ст. 3 кл. 2-1
S275JR	1.0044	C 275	Ст. 3 пс 6-2
S355JR	1.0045	C 345	12Г2С гр.-1
EN 10025-3-2004 (E)		ГОСТ 19281 бойынша аналог	
Болат маркасы	Материал нөмірі	Белгілеуі	Болат маркасы
S420N	1.8902	C 440	12Г2АФ, 18Г2АФПС, 15Г2СФ термоупрочненная
EN 10025-6-2004 (E)		ГОСТ ТУ14-1-1-1772 бойынша аналог	
Болат маркасы	Материал нөмірі	Белгілеуі	Болат маркасы
S550Q	1.8904	C 590	12Г2СМФ

1 ЕСКЕРТПЕ Б.1 Кестесінде келтірілген отандық болаттардың аналогтарын статикалық және қайталау статикалық жүктемелерді қабылдайтын болат конструкцияларға арналған аққыштық және уақытша кедергі шегінің нормативті мәнін таңдап алған жағдайда қолдануға рұқсат беріледі (1993-1-1 ҚР ҚН EN–ң Ұлттық Қосымшаның 2.13 ҰҚ бөлімін қараңыз).

2 ЕСКЕРТПЕ С 245, С 255, С 345Т, С 345К, С 375, С 375Т, С 390, С 390Т, С 390К классты болаттарды қоса отырып отандық болаттар аналогы кестесін кеңейтуді сәйкес келетін әдістемелер бойынша стандартты лабораториялық салыстыру сынақтарының кең көлемдегі нәтижелері жиналғанан кейін ғана жүргізуге болады.

3 ЕСКЕРТПЕ Отандық болаттардың екпінді тұтқырлығын бағалау V түрлі концентраты (Шарпи әдістемесі бойынша үлгілер) бар үлгілер үшін жүргізілуі тиіс. Лабораториялық сынақтардың нәтижелері бойынша U түрлі концентраты бар отандық болаттарға арналған екпінді тұтқырлықтың есептік мәндерін түзетуге болады, бұл болат маркалары дірілді, динамикалық, екпінді жүктемелер мен әсерлер кезінде қолданылады.

УДК 624.014.24

МКС 91.010

---

**Негізгі сөздер:** Отқа төзімділік, қосылыс есебі, жылу өткізгіштік, ұзару, беріктік, тұрақтылық.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>VI</b>
<b>1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ .....</b>	<b>1</b>
<b>2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ .....</b>	<b>3</b>
<b>3 ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....</b>	<b>4</b>
<b>4 ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА.....</b>	<b>10</b>
4.1 Введение в конструктивное строительное противопожарное проектирование.....	10
4.2 Общие положения по расчету .....	12
4.3 Проектирование стальных конструкций по СН РК EN 1993-1-2 .....	14
4.4 Проектирование с учетом испытаний .....	15
<b>5 РАСЧЕТНЫЕ ПОЖАРЫ .....</b>	<b>16</b>
5.1 Общие положения .....	16
5.2 Общие правила для вычисления температуры среды .....	16
5.3 Номинальные температурные режимы .....	17
5.3.1 Общие положения .....	17
5.3.2 Стандартный температурный режим .....	17
5.3.3 Температурный режим наружного пожара.....	17
5.3.4 Режим горения углеводородов.....	18
5.4 Эквивалентная продолжительность пожара.....	18
ПРИМЕР 1 Вычисление эквивалентной продолжительности пожара.....	19
5.5 Параметрические температурные режимы.....	21
ПРИМЕР 2 Параметрическое вычисление .....	22
5.6 Внешняя температура среды.....	24
5.7 Общие модели пожара .....	25
<b>6 ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕМЕНТОВ .....</b>	<b>26</b>
6.1 Общие положения .....	26
6.2 Коэффициенты сечения для стальной конструкции.....	26
6.3 Незащищенные стальные изделия.....	26
6.4 Стальные конструкции изолированные противопожарной защитой.....	28
<b>7 СТАТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ .....</b>	<b>30</b>
7.1 Общие положения .....	30
7.2 Коэффициенты надежности для нагрузок .....	30
7.3 Расчетные значения нагрузок .....	32
7.3.1 Общие положения .....	32
7.3.2 Нагрузка .....	32
7.3.3 Расчетные нагрузки при нормальной температуре.....	32
7.3.4 Расчетные нагрузки предельного состояния при пожаре .....	32
7.3.5 Расчетные значения воздействий - ситуация со строительным противопожарным проектированием для первого предельного состояния по несущей способности.....	33
7.4 Определение уровня нагрузки, ее интенсивности и коэффициента использования .	33
7.4.1 Уровень нагрузки (n).....	33
7.4.2 Коэффициент использования ( $\mu_{fi}$ ) .....	34

<b>8 ТЕПЛОВЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>35</b>
8.1 Общие положения .....	35
8.2 Сталь.....	35
8.2.1 Общие положения .....	35
8.2.2 Горячекатаная углеродистая сталь .....	35
8.2.3 Нержавеющая сталь .....	41
8.2.4 Тонкостенная сталь .....	46
8.3 Болты и сварные швы .....	48
<b>9 РАСЧЕТ РАСТЯНУТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....</b>	<b>51</b>
9.1 Общие положения .....	51
9.2 Метод расчетной несущей способности .....	51
9.2.1 Общие положения .....	51
9.2.2 Неравномерное температурное распределение .....	52
ПРИМЕР 3 Несущая способность на растяжение равнополочного уголка .....	53
9.2.3 Равномерное температурное распределение .....	54
9.3 Метод критической температуры .....	54
ПРИМЕР 4 Вычисление критической температуры.....	56
<b>10 РАСЧЕТ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....</b>	<b>57</b>
10.1 Общие положения .....	57
10.2 Расчетная длина колонн при пожаре.....	57
10.3 Нагруженные в осевом направлении стальные колонны.....	58
10.3.1 Общие положения .....	58
10.3.2 Равномерно нагреваемая колонна с поперечным сечением 1, 2 и 3 класса.....	60
ПРИМЕР 5 Вычисление предельной температуры стальной колонны .....	60
10.3.3 Равномерно нагреваемая колонна с поперечным сечением 4 класса .....	61
10.3.4 Равномерно нагреваемая колонна под воздействием осевой нагрузки и изгибающего момента .....	61
10.3.5 Неравномерно нагреваемые стальные колонны .....	62
<b>11 РАСЧЕТ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....</b>	<b>63</b>
11.1 Общие положения .....	63
11.2 Стальные балки .....	63
11.2.1 Общие положения .....	63
11.2.2 Несущая способность по изгибающему моменту.....	63
ПРИМЕР 6 Вычисление несущей способности по моменту .....	64
ПРИМЕР 7 Метод критической температуры .....	66
11.2.3 Несущая способность на сдвиг .....	66
ПРИМЕР 8 Вычисление несущей способности на сдвиг.....	66
11.2.4 Изгибно-крутильная потеря устойчивости.....	67
11.2.5 Учет деформации .....	68
11.3 Стальная балка под воздействием огня с трех сторон и бетонной плитой на четвертой стороне .....	68
<b>12 ДРУГИЕ ВИДЫ КОНСТРУКЦИЙ .....</b>	<b>70</b>

12.1 Общие положения .....	70
12.2 Тонкие балки перекрытия.....	70
12.3 Балки с опорными уголками .....	70
12.4 Заполненные колонны .....	73
<b>13 СОЕДИНЕНИЯ .....</b>	<b>75</b>
13.1 Общие положения .....	75
13.2 Стальные и сталежелезобетонные соединения .....	75
ПРИМЕР 9 Соединение балки с колонной по главной оси .....	78
<b>14 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ.....</b>	<b>86</b>
14.1 Введение.....	86
14.2 Руководство по выбору соответствующего расчетного метода .....	86
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А (информационное) Дополнительные термины, определения, обозначения и сокращения, используемые при проектировании стальных конструкций с учетом возможного воздействия пожара .....</b>	<b>88</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б (информационное) Аналоги отечественных марок стали .....</b>	<b>96</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее нормативно-техническое пособие подготовлено ТОО «Астана Строй-Консалтинг» по договору с акционерным обществом «Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры» (АО «КазНИИСА»).

Настоящее нормативно-техническое пособие составлено в развитие положений СН РК EN 1993-1-2 «Проектирование стальных конструкций - Часть 1-12: Проектирование стальных конструкций с учетом воздействия пожара» предназначено для определения огнестойкости стальных конструкций общего и специального назначения.

Настоящее нормативно-техническое пособие является частью группы нормативно-технических пособий к строительным нормам Республики Казахстан СН РК EN 1993, идентичных Еврокоду 3.

Группа нормативно-технических пособий к СН РК EN 1993 – это перечень нормативно-технических документов, в которых приведены: рекомендации к расчету и к конструированию стальных конструкций согласно Принципам и Правилам проектирования СН РК EN 1993; разъяснения нормативной ссылочной информации; численные примеры расчета; дополнительная справочная информация.

Положения нормативно-технических пособий к СН РК EN 1993 охватывают только требования по несущей способности, эксплуатационной пригодности, долговечности и огнестойкости стальных конструкций. Другие требования не отражены в нормативно-технических пособиях к СН РК EN 1993.

Нормативно-технические пособия к СН РК EN 1993 следует использовать совместно со следующими нормативно-техническими документами:

- НТП к СН РК EN 1990;
- НТП к СН РК EN 1991;
- НТП к СН РК EN 1992 - СН РК EN 1999, в тех частях, которые непосредственно затрагивают расчет стальных конструкций или их элементов;
- стандарты EN, ETAG, ETA и другие соответствующие стандарты на строительные изделия, относящиеся к стальным конструкциям.

Основополагающими документами при разработке нормативно-технических пособий к СН РК EN 1993, помимо самих 20 частей СН РК EN 1993 «Проектирование стальных конструкций», являются СН РК EN 1990, СН РК EN 1991 и EN 1090.

Группа нормативно-технических пособий к СН РК EN 1993 состоит из 19 пособий:

- нормативно-технические пособия к СН РК EN 1993-1 (12 пособий);
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-2 (1 пособие);
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-3 (1 пособие);
- нормативно-технические пособия к СН РК EN 1993-4 (3 пособия);
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-5 (1 пособие);
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-6 (1 пособие).

Подгруппа нормативно-технических пособий к СН РК EN 1993-1 состоит из 12 пособий:

- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-1;

- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-2;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-3;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-4;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-5;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-6;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-7;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-8;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-9;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-10;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-11;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-12.

В нормативно-технических пособиях к СН РК EN 1993-1 приведены указания по проектированию стальных конструкций, которые распространяются на части СН РК EN 1993, имеющие отношение к специальным стальным зданиям и сооружениям:

- СН РК EN 1993-2;
- СН РК EN 1993-3;
- СН РК EN 1993-4;
- СН РК EN 1993-5;
- СН РК EN 1993-6.

В настоящем нормативно-техническом пособии к СН РК EN 1993-1-2 приведены:

- Принципы и Правила проектирования стальных конструкций с учетом воздействия пожара, содержащиеся в СН РК EN 1993-1-2;

- положения, развивающие Принципы и Правила проектирования, приведенные в СН РК EN 1993-1-2;

- рекомендации, дополняющие Принципы и Правила проектирования, приведенные в СН РК EN 1993-1-2;

- численные примеры расчета, иллюстрирующие применение положений СН РК EN 1993-1-2 в практике проектирования.

При разработке настоящего нормативно-технического пособия, помимо положений СН РК EN 1993-1-12, учтены:

- положения Национального Приложения к СН РК EN 1993-1-2;
- соответствующие положения СН РК EN 1990;
- соответствующие положения СН РК EN 1991.

Настоящее нормативно-техническое пособие состоит из 15 разделов. В них даются разъяснения по разделам и пунктам СН РК EN 1993-1-2. В настоящем пособии номера пунктов СН РК EN 1993 приведены в скобках:

- Раздел 1: Область применения;
- Раздел 2: Нормативные ссылки;
- Раздел 3: Термины, определения, обозначения и сокращения;

- Раздел 4: Общие положения;
- Раздел 5: Методы расчета;
- Раздел 6: Расчетные пожары;
- Раздел 7: Температуры элементов;
- Раздел 8: Статические нагрузки;
- Раздел 9: Тепловые и механические свойства материалов;
- Раздел 10: Расчет растянутых элементов;
- Раздел 11: Расчет сжатых элементов;
- Раздел 12: Расчет изгибаемых элементов;
- Раздел 13: Другие виды конструкций;
- Раздел 14: Соединения;
- Раздел 15: Общее обсуждение.

Настоящее нормативно-техническое пособие предназначено для инженерно-технических работников проектных организаций, научных работников, заказчиков проектной продукции, преподавателей и студентов высших учебных заведений.

Настоящее нормативно-техническое пособие вводится в действие для применения на добровольной основе в качестве нормативного документа Республики Казахстан.



**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ НОРМАТИВТІК-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ**  
**НОРМАТИВНО - ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ**  
**ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРА**

**STRUCTURAL FIRE DESIGN**

Дата введения – 2015-07-01

**1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

1.1 Настоящее пособие к СН РК EN 1993-1-2 устанавливает требования при проектировании стальных конструкций с учетом возможного воздействия пожара и предназначено для использования совместно с СН РК EN 1993-1-1 и СН РК EN 1991-1-2. Настоящее пособие содержит только отличительные или дополнительные требования к проектированию конструкций, эксплуатируемых при нормальной температуре.

1.2 Настоящее пособие содержит и развивает Принципы и Правила проектирования стальных конструкций с учетом возможного воздействия пожара, приведенные в СН РК EN 1993-1-2.

1.3 В настоящем пособии приведены проектные решения при воздействии пожара для конструкций и сооружений повышенной и высокой ответственности, где потенциальные выгоды принятия подхода инженерного проектирования при воздействии пожара превышают дополнительную стоимость для заказчика. Одна из целей настоящего пособия состоит в том, чтобы описать СН РК EN 1993-1-2 так, чтобы можно было их понять и использовать инженерами-строителями и инженерами-проектировщиками, знакомыми с основными принципами и допущениями проектирования для нормальных условий.

**ПРИМЕЧАНИЕ** Строительные нормы СН РК EN рассматривают сталь, сталежелезобетон и железобетон изолированно каждый в отдельном нормативе. В данном случае попунктное рассмотрение частей противопожарных норм по материалам недостаточно для того, чтобы использовать проектировщикам данные нормативы. Природа нагрузки должна быть понята прежде, чем применить принципы проектирования зданий и сооружений, изложенные в строительных нормах СН РК EN. По данной причине настоящее пособие предназначается как пособие к двум отдельным документам, а именно, СН РК EN 1991 Часть 1.2, СН РК EN 1993 Часть 1.2 и со ссылкой, СН РК EN 1990.

1.4 При применении настоящего пособия необходимо учитывать общие требования СН РК EN 1990 и СН РК EN 1991. Кроме того, все положения настоящего пособия предполагают, что изготовление и сборка стальных конструкций выполнены согласно EN 1090. В дополнение к общим допущениям, приведенным в СН РК EN 1990, в настоящем пособии используются следующие допущение: любые системы пассивной противопожарной защиты, принимаемые во внимание при расчете, должны соответствующим образом обслуживаться в процессе эксплуатации.

*Издание официальное*

## 2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Для применения настоящего пособия необходимы следующие ссылочные нормативные документы:

а) строительные нормы Республики Казахстан (основные ссылки):

- СН РК EN 1990;
- СН РК EN 1991;
- СН РК EN 1992;
- СН РК EN 1993;
- СН РК EN 1994.

б) стандарты на сталь, стальные заготовки, стальные изделия и сварочные расходные материалы (вторичные ссылки):

- EN 10025 «Изделия горячекатаные из конструкционной стали»;
- EN 10155 «Стали конструкционные атмосферостойкие. Технические условия поставки»;
- EN 10210 «Полые профили, изготавливаемые горячим способом, для металлоконструкций из нелегированных конструкционных сталей и из мелкозернистых конструкционных сталей. Часть 1. Технические условия поставки»;
- EN 10219 «Полые сварные профили, изготавливаемые холодным способом, для металлоконструкций из нелегированных конструкционных сталей и из мелкозернистых конструкционных сталей. Часть 1. Технические условия поставки»;
- EN 1363 «Огнестойкость. Общие требования»;
- EN 13501 «Классификация строительных конструкций, материалов и изделий по пожарной опасности. Часть 2. Классификация по огнестойкости строительных конструкций и изделий, за исключением применяемых в вентиляционных системах»;
- ENV 13381 «Методы испытания для определения факторов, влияющих на огнестойкость строительных конструкций. Часть 1. Горизонтальные защитные мембраны»;
- ENV 13381 «Методы испытания для определения факторов, влияющих на огнестойкость строительных конструкций. Часть 2. Вертикальные защитные мембраны»;
- ENV 13381 «Методы испытания для определения факторов, влияющих на огнестойкость строительных конструкций. Часть 4. Защита стальных конструктивных элементов».

## 3 ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

3.1 В настоящем пособии используются термины и определения, при проектировании стальных конструкций с учетом возможного воздействия пожара, в соответствии:

- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1990;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-1-1;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-1-2;
- с Пунктом 1.3 СН РК EN 1993-1-3;

- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-1-4;
- с Пунктом 1.3 СН РК EN 1993-1-5;
- с Пунктом 1.3 СН РК EN 1993-1-6;
- с Пунктом 1.3 СН РК EN 1993-1-7;
- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-8;
- с Пунктом 1.3 СН РК EN 1993-1-9;
- с Пунктом 1.3 СН РК EN 1993-1-10;
- с Пунктом 1.3 СН РК EN 1993-1-11;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-2;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-3-1;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-3-2;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-4-1;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-4-2;
- с Пунктами 1.5 и 1.8 СН РК EN 1993-4-3;
- с Пунктами 1.5 и 1.8 СН РК EN 1993-5,
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-6.

ПРИМЕЧАНИЕ В дополнение к терминам и определениям, перечисленных в Пунктах 3.1 настоящего пособия, используются термины и определения согласно Приложению А настоящего пособия.

3.2 В настоящем пособии используются обозначения и сокращения, которые необходимы при проектировании стальных конструкций с учетом возможного воздействия пожара:

**а) прописные буквы латинского алфавита:**

- $A_i$  — элементарная площадь поперечного сечения с температурой  $\theta_i$ ;
- $A_m$  — площадь поверхности конструкции на единицу длины;
- $A_m/V$  — коэффициент сечения для незащищенных стальных конструкций;
- $C_i$  — коэффициент защиты  $i$ -той поверхности конструкции;
- $A_p$  — соответствующая площадь поверхности огнезащитного материала на единицу длины конструкции ( $m^2$ );
- $E_a$  — модуль упругости стали при нормальной температуре;
- $E_{a,\theta}$  — тангенс угла наклона линейного участка области упругих деформаций стали при повышенной температуре  $\theta_a$ ;
- $E_{fi,d}$  — расчетное значение результата воздействий при пожаре, определяется в соответствии с СН РК EN 1991-1-2 с учетом влияния температурного расширения и деформаций;
- $F_{b,Rd}$  — расчетное сопротивление смятию болтов;
- $F_{b,t,Rd}$  — расчетное сопротивление смятию болтов при пожаре;
- $F_{v,Rd}$  — расчетное сопротивление сдвигу болта в плоскости среза, определенное при допущении, что плоскость среза проходит через витки резьбы болта;
- $F_{v,t,Rd}$  — расчетное сопротивление болтов, нагруженных в плоскости сдвига, при пожаре;

$F_{w,Rd}$  — расчетное сопротивление углового сварного шва на единицу длины;

$F_{w,t,Rd}$  — расчетное сопротивление углового сварного шва на единицу длины при пожаре;

$G_k$  — нормативное значение постоянного воздействия;

$I_f$  — тепловой поток излучением от открытых проемов;

$I_z$  — тепловой поток излучением от пламени;

$I_{z,i}$  — тепловой поток излучением от пламени к  $i$ -той поверхности колонны;

$L$  — расчетная длина колонны на соответствующем этаже;

$M_{b,fi,t,Rd}$  — расчетное сопротивление боковому выпучиванию в момент времени  $t$ ;

$M_{fi,t,Rd}$  — расчетное сопротивление изгибающему моменту в момент времени  $t$ ;

$M_{fi,\theta,Rd}$  — расчетное сопротивление изгибающему моменту поперечного сечения, равномерно прогретого до температуры  $\theta_a$ , равной температуре  $\theta_a$ , равномерно распределенной по площади поперечного сечения, в момент времени  $t$ , без теплового взаимодействия с опорами;

$M_{Rd}$  — сопротивление поперечного сечения брутто изгибающему моменту  $M_{pl,Rd}$  при нормальной температуре в случае пластической деформации; сопротивление поперечного сечения брутто изгибающему моменту  $M_{el,Rd}$  при нормальной температуре в случае упругой деформации;

$N_{b,fi,t,Rd}$  — расчетное сопротивление сжатой конструкции боковому выпучиванию в момент времени  $t$ ;

$N_{Rd}$  — расчетное сопротивление поперечного сечения  $N_{pl,Rd}$  действию продольной силы при нормальной температуре, в соответствии с СН РК EN 1993-1-1;

$N_{fi,\theta,Rd}$  — расчетное сопротивление конструкции растяжению при равномерно распределенной температуре  $\theta_a$ ;

$N_{fi,t,Rd}$  — расчетное сопротивление конструкции растяжению в момент времени  $t$  при неравномерном распределении температуры в поперечном сечении;

$Q_{k,1}$  — доминирующее переменное воздействие;

$R_{fi,d,t}$  — соответствующее расчетное значение сопротивления при пожаре;

$R_{fi,d,0}$  — значение  $R_{fi,d,t}$  в момент времени  $t = 0$ ;

$T_f$  — температура пожара (K);

$T_0$  — температура пламени в открытом проеме (K);

$T_x$  — температура фронта пламени (813 K);

$T_z$  — температура пламени (K);

$T_{z,1}$  — температура пламени (K) на уровне нижнего края балки по приложению В EN 1991-1-2;

$T_{z,2}$  — температура пламени (K) на уровне верхнего края балки по приложению В EN 1991-1-2;

$V$  — объем единицы длины конструкции;

$V_{fi,t,Rd}$  — расчетное сопротивление сдвигу в момент времени  $t$ ;

$V_{Rd}$  — сопротивление сдвигу поперечного сечения брутто при нормальной температуре, в соответствии с СН РК EN 1993-1-1;

$X_k$  — нормативное значение прочностных или деформационных характеристик (обычно  $f_k$  или  $E_k$ ) при нормальной температуре по СН РК EN 1993-1-1.

**б) строчные буквы латинского алфавита:**

- $a_z$  — поглощающая способность пламени;  
 $c$  — удельная теплоемкость;  
 $c_a$  — удельная теплоемкость стали;  
 $c_p$  — удельная теплоемкость огнезащитного материала, зависящая от времени;  
 $d_i$  — размер поперечного сечения в направлении  $i$ -той поверхности конструкции;  
 $d_p$  — толщина огнезащитного материала;  
 $d_f$  — толщина огнезащитного материала ( $d_f = 0$  для незащищенных конструкций);  
 $f_{p,\theta}$  — предел упругости стали при повышенной температуре  $\theta_a$ ;  
 $f_y$  — предел текучести при 20 °С;  
 $f_{y,\theta}$  — расчетный предел текучести стали при повышенной температуре  $\theta_a$ ;  
 $f_{y,i}$  — номинальный предел текучести  $f_y$  для элементарной площадки  $A_i$ , принимается положительным в сжатой части относительно нейтральной линии при пластических деформациях и отрицательным — в растянутой части;  
 $f_{u,\theta}$  — предел прочности деформационно упрочненных конструкций при повышенной температуре;  
 $h_{net,d}$  — расчетное значение результирующего теплового потока на единицу площади;  
 $h_z$  — величина превышения верхом пламени уровня нижнего края балки;  
 $i$  — показатель порядкового номера поверхности колонны (1), (2), (3) или (4);  
 $k_{b,\theta}$  — коэффициент снижения, определяемый по соответствующей температуре болта;  
 $k_{E,\theta}$  — коэффициент снижения для наклонного прямолинейного участка упругих деформаций при достижении сталью температуры  $\theta_a$  в момент времени  $t$ , см. раздел 3;  
 $k_{E,\theta,com}$  — коэффициент снижения угла наклона прямолинейного участка области упругих деформаций при максимальной температуре стали в сжатой части  $\theta_{a,com}$ , достигаемой в момент времени  $t$ ;  
 $k_{sh}$  — поправочный коэффициент для учета влияния теневого эффекта;  
 $k_\theta$  — относительное значение прочностных или деформационных характеристик стали при повышенной температуре  $\theta_a$ ;  
 $k_\theta$  — коэффициент снижения прочностных или деформационных характеристик ( $X_{k,\theta}/X_k$ ), зависящий от температуры материала, см. раздел 3;  
 $k_w$  — коэффициент снижения прочности сварного шва;  
 $k_{y,\theta}$  — коэффициент снижения предела текучести стали при температуре стали  $\theta_a$ , достигаемой в момент времени  $t$ , см. раздел 3;  
 $k_{y,\theta,com}$  — коэффициент снижения предела текучести стали при максимальной температуре  $\theta_{a,com}$ , достигаемой в момент времени  $t$  в сжатой области, см. раздел 3;  
 $k_{y,\theta,i}$  — коэффициент снижения предела текучести стали при температуре  $\theta_i$ ;  
 $k_{y,\theta,max}$  — коэффициент снижения предела текучести стали при максимальной температуре  $\theta_{a,max}$ , достигаемой в момент времени  $t$ ;  
 $k_{y,\theta,web}$  — коэффициент снижения предела текучести стали при температуре стали  $\theta_{web}$ ;

$k_y$  — коэффициент взаимодействия;  
 $k_z$  — коэффициент взаимодействия;  
 $k_{LT}$  — коэффициент взаимодействия;  
 $m$  — количество открытых проемов на стороне  $m$ ;  
 $n$  — количество открытых проемов на стороне  $n$ ;  
 $l$  — длина при 20 °С; расстояние от открытого проема, определяемое вдоль оси пламени;

$l_{fi}$  — длина зоны бокового выпучивания колонны при расчетном пожаре;  
 $s$  — расстояние по горизонтали от геометрической оси колонны до стены пожарного отсека (секции);

$t$  — время воздействия пожара;  
 $w_i$  — ширина открытого проема;  
 $z_i$  — расстояние от нейтральной оси сечения до центра тяжести элементарной площадки  $A_i$  при пластических деформациях.

**в) прописные буквы греческого алфавита:**

$\Delta t$  — промежуток времени;  
 $\Delta l$  — температурное удлинение;  
 $\Delta \theta_{g,t}$  — увеличение температуры газовой среды за промежуток времени  $\Delta t$ ;  
 $\phi_{f,i}$  — угловой коэффициент облученности  $i$ -той поверхности конструкции относительно открытого проема;

$\phi_f$  — результирующий угловой коэффициент облученности конструкции для расчета теплообмена излучением от открытого проема;

$\phi_z$  — результирующий угловой коэффициент облученности конструкции для расчета теплообмена излучением от пламени;

$\phi_{z,i}$  — угловой коэффициент облученности  $i$ -той поверхности конструкции для расчета теплообмена излучением от пламени;

$\phi_{z,m}$  — результирующий угловой коэффициент облученности колонны для расчета теплообмена излучением от пламени к стороне  $m$ ;

$\phi_{z,n}$  — результирующий угловой коэффициент облученности колонны для расчета теплообмена излучением от пламени к стороне  $n$ .

**г) строчные буквы греческого алфавита:**

$\alpha$  — коэффициент конвективного теплообмена;  
 $\beta_M$  — коэффициенты приведения моментов к постоянным значениям;  
 $\gamma_G$  — частный коэффициент безопасности для постоянных воздействий;  
 $\gamma_{M2}$  — частный коэффициент безопасности при нормальной температуре;  
 $\gamma_{M,fi}$  — частный коэффициент безопасности при пожаре, зависящий от характеристик материала;

$\gamma_{Q,1}$  — частный коэффициент безопасности для единичного переменного воздействия;

$\varepsilon_f$  — степень черноты пламени; степень черноты открытого проема;

$\varepsilon_z$  — степень черноты пламени;

$\varepsilon_{z,m}$  — общая степень черноты пламени со стороны  $m$ ;

- $\varepsilon_{z,n}$  — общая степень черноты пламени со стороны  $n$ ;  
 $\xi$  — понижающий коэффициент для учета неблагоприятных постоянных воздействий  $G$ ;  
 $\eta_{f,i}$  — коэффициент расчетного уровня нагружения при пожаре;  
 $\theta$  — температура;  
 $\theta_a$  — температура стали ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $\theta_{a,cr}$  — критическая температура стали ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $\theta_{g,t}$  — температура газовой среды в момент времени  $t$ ;  
 $\theta_{web}$  — средняя температура в сечении конструкции;  
 $\theta_i$  — температура элементарной площадки  $A_i$ ;  
 $k$  — поправочный коэффициент;  
 $k_1$  — поправочный коэффициент для неравномерного распределения температуры по ширине поперечного сечения;  
 $k_2$  — поправочный коэффициент для неравномерного распределения температуры по длине балки;  
 $\lambda$  — коэффициент теплопроводности;  
 $\lambda_i$  — толщина пламени, истекающего из открытого проема  $i$ ;  
 $\lambda_p$  — коэффициент теплопроводности огнезащитного материала;  
 $\mu_0$  — коэффициент использования несущей способности в момент времени  $t = 0$ ;  
 $\sigma$  — постоянная Стефана-Больцмана ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ );  
 $\rho_a$  — плотность стали;  
 $\rho_p$  — плотность огнезащитного материала;  
 $\chi_{fi}$  — понижающий коэффициент в случае потери устойчивости при изгибе для расчетного пожара;  
 $\chi_{LT,fi}$  — понижающий коэффициент учета местной потери устойчивости вследствие кручения с изгибом при расчетном пожаре;  
 $\chi_{min,fi}$  — минимальное из значений  $\chi_{y,fi}$  и  $\chi_{z,fi}$ ;  
 $\chi_{z,fi}$  — понижающий коэффициент потери устойчивости при изгибе по оси  $z$  для расчетного пожара;  
 $\chi_{y,fi}$  — понижающий коэффициент потери устойчивости при изгибе по оси  $y$  для расчетного пожара;  
 $\psi_{fi}$  — коэффициент сочетания воздействий, принимается равным  $\psi_{1,1}$  или  $\psi_{2,1}$ .

**ПРИМЕЧАНИЕ 1** В дополнение к обозначениям и сокращениям, перечисленных в Пунктах 3.2 настоящего пособия, используются обозначения и сокращения согласно Приложению А настоящего пособия.

**ПРИМЕЧАНИЕ 2** Кроме того, в настоящем пособии используются обозначения и сокращения в соответствии:

- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1990;
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-1-1;
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-1-2;
- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-3;
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-1-4;

- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-5;
- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-6;
- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-7;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-1-8;
- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-9;
- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-10;
- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-11;
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-2;
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-3-1;
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-3-2;
- с Пунктами 1.6, 1.7 и 1.8 СН РК EN 1993-4-1;
- с Пунктами 1.6, 1.7 и 1.8 СН РК EN 1993-4-2;
- с Пунктами 1.6 и 1.7 СН РК EN 1993-4-3;
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-5,
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-6.

## **4 ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА**

### **4.1 Введение в конструктивное строительное противопожарное проектирование**

4.1.1 Все здания должны отвечать определенным функциональным требованиям, включающим средства спасения, внутреннего распространения пожара, распространения пожара снаружи и доступа Пожарной службы, как установлено в инструкциях. Важно отметить, что строительные нормы и правила предназначены для того, чтобы гарантировать разумные стандарты обеспечения здоровья и безопасности внутри и вокруг здания. Они не рассчитаны на то, чтобы ограничить повреждение конструкций, и не рассчитаны на то, чтобы минимизировать денежные убытки ввиду воздействия пожара.

4.1.2 Для современных целей самое важное требование, связанное с внутренним пожаром, распространяющимся по строительным конструкциям, гласит: “Здание должно быть спроектировано и построено так, чтобы в случае пожара его устойчивость была поддержана в течение разумного периода”.

4.1.3 Для стальных элементов уменьшение прочности и жесткости с увеличением температуры является особенно существенным между 400°C и 700°C. Наиболее распространенный метод «проектирования» стальных конструкций для условий пожара связан с проектированием здания для воздействий от окружающих температурных условий и нагрузок и защитой стальных элементов огнезащитными материалами для того, чтобы гарантировать указанный процент температурной несущей способности.

4.1.4 Требование для здания об обеспечении устойчивости в течение разумного периода имеет связь с необходимым временем выживания в стандартных испытаниях на огнестойкость. Требования огнестойкости имеют отношение непосредственно ко времени огнестойкости, и часто неправильно предполагается, что есть непосредственные соотношения между выживанием в испытании на огнестойкость и выживанием в пожаре. Традиционный критерий расчета – то, что огнестойкость должна быть больше чем время, требуемое в инструкциях, основанных на оценке здания, принадлежащего конкретной группе. Огнестойкость определена относительно трех критериев отказа: изоляция,



целостность и несущая способность. Это – метод, с помощью которого проектируется огромное большинство зданий. Предписывающая природа инструкций препятствовала развитию более рационального подхода к расчетам пожара для зданий.

4.1.5 Как упомянуто выше, традиционное средство достижения установленных периодов огнестойкости для стальных конструкций состоит в том, чтобы применить пассивную противопожарную защиту к элементам строительных конструкций. Данная пассивная противопожарная защита может быть реализована в форме традиционных строительных материалов, таких как бетон или каменная кладка. Вплоть до конца 1970-ых бетон был наиболее распространенной формой противопожарной защиты для несущей стальной конструкции. Однако, высокая стоимость данной формы защиты вместе с проблемой расщепления при пожарах привела к развитию альтернативных методов. Более часто изоляция обеспечена набрызгиванием или противопожарной защитой с помощью изоляционной доски или их комбинацией. Вспучивающиеся покрытия могут быть более предпочтительны традиционным методам. Распыляемые системы чаще используются там, где стальные изделия не видимы, такие как кессоны потолка, скрытые подвесным потолком. В современных офисах наиболее распространенная форма защиты – напыление балок и защита колонн жаростойкими досками.

4.1.6 Существенное изменение в расчетной методологии для стальных конструкций при пожаре появлялось в 1990 г. (см. СН РК EN 1993-1-2). Хотя данный норматив основан на оценке конструкционной стали и составных элементов в стандартных испытаниях на огнестойкость, это позволяет архитекторам проектировать альтернативный подход для огнестойкости с помощью вычислений. Признается, что нет никакой единственной «температуры отказа» для стальных элементов и что на конструктивный отказ влияет не только температура, но также и уровень нагрузки, условия опирания и присутствие или отсутствие теплового градиента через элемент и/или вдоль элемента. Норматив СН РК EN 1993-1-2 учитывает рассмотрение естественных пожаров, но не обеспечивает подробной информации или руководства. Даются коэффициенты нагрузки и коэффициенты прочности, определенные для предельного состояния при пожаре.

4.1.7 Наиболее распространенным методом достижения указанной огнестойкости для стальных конструкций остается применение пассивной противопожарной защиты. Толщина противопожарной защиты, полученная из рассмотрения коэффициента сечения ( $H_p/A$  или  $A_m/V$ ). Это – отношение нагретого периметра к площади поперечного сечения брутто для того, чтобы учесть переменные показатели нагрева стальных профилей во время пожара.

4.1.8 Методы вычисления огнестойкости включают ограничивающий температурный метод. Это простая, но эффективная процедура использует понятие отношения нагрузки, то есть отношения нагрузки, которую несет элемент во время пожара к несущей способности при нормальной температуре, чтобы получить предельную температуру, и чтобы оценить потребность в пассивной защите. Должно быть принято во внимание, что ограничивающий температурный метод не применялся к балкам с высоким уровнем сдвиговых усилий. Указанный метод использует уменьшенные коэффициенты нагрузки для предельного состояния при пожаре. Альтернативный выбор состоит в том, чтобы использовать метод несущей способности по моменту. Данный метод не может

использоваться для тонких сечений. Он широко не используется, поскольку требуется знание температурного профиля балки. Несущая способность по моменту основана на известной температуре критического элемента с соответствующим используемым коэффициентом снижения прочности. Если несущая способность по моменту не превышает приложенную в предельном состоянии при пожаре, тогда балка не требует защиты. Составные плиты включены в норму с помощью простых справочных таблиц для критических измерений и температурных данных, которые могут быть включены в более обширный анализ разработки пожара.

4.1.9 Особенность определения огнестойкости по СН РК EN, – это то, что вся информация, запрошенная проектировщиком, не доступна в пределах единственного документа.

Информация о тепловых воздействиях для температурного расчета должна быть взята СН РК EN 1991-1-2; метод, с помощью которого вычисляется подъем температуры несущей стальной конструкции (защищенный или незащищенный) находится в СН РК EN 1993-1-2 и СН РК EN 1994-1-2; значения для температуры конкретных элементов, подвергающихся стандартному пожару, сведены в таблицу в СН РК EN 1992-1-2. Методики проектирования для установления конструктивной несущей способности изложены в частях соответствующих СН РК EN 1992, СН РК EN 1993 и СН РК EN 1994, но воздействия (или нагрузки) для оценки взяты от соответствующих частей СН РК EN 1991.

## **4.2 Общие положения по расчету**

4.2.1 Строительные нормы СН РК EN, основанные на Еврокодах, предоставляют диапазон возможностей для проектировщика от предписывающих правил, основанных на стандартных периодах огнестойкости и использовании сведенных в таблицу данных к процедурам вычисления до правил, основанных на реальном пожаре и поведении неразрушенной конструкции. Степень, с которой каждый из этих методов может использоваться с данной конструктивной формой, зависит от уровня знания относительно работы материала при пожаре и доступности соответственно утвержденных расчетных методов. Общая методика проектирования для предельного состояния при пожаре, указывающая на потенциальные пути, соответствующие нормальным требованиям, указана на Рисунке 4.1 настоящего пособия.

4.2.2 Иерархия с точки зрения сложности – сведенные в таблицу данные, затем простые методы вычисления, затем общие методы вычисления. Для проектировщика подход, сведенный в таблицу к проектированию, является наиболее подходящим для большинства конструкций. Методы вычисления могут использоваться, чтобы продемонстрировать работу в особых условиях и могут обеспечить существенные сбережения при определенных обстоятельствах. Общие методы вычисления (обычно нелинейные конечно-элементные модели) могут использоваться там, где конструкция очень сложна. Примеры таких конструкций: спортивные стадионы, выставочные залы или здания аэропорта.

4.2.3 Информация, необходимая для того, чтобы выполнить инженерное противопожарное проектирование, была традиционно расположена в пределах одного

нормативного документа. Строительные нормы СН РК EN – интегрированный набор норм проектирования и предназначены для использования в строительном проектировании.

4.2.4 В противопожарной части СН РК EN 1993 по строительным материалам (СН РК EN 1993-1-2) огнестойкость может быть определена:

- простыми моделями вычисления;
- общими моделями вычисления;
- сведенными в таблицу данными.

4.2.5 Нормативные требования основаны на типе здания (офис, жилой, торговый и т.д.) и высоте конструкции. Методика проектирования в СН РК EN, указывающая на взаимодействие между различными нормативами, необходимыми для расчета, следующая:

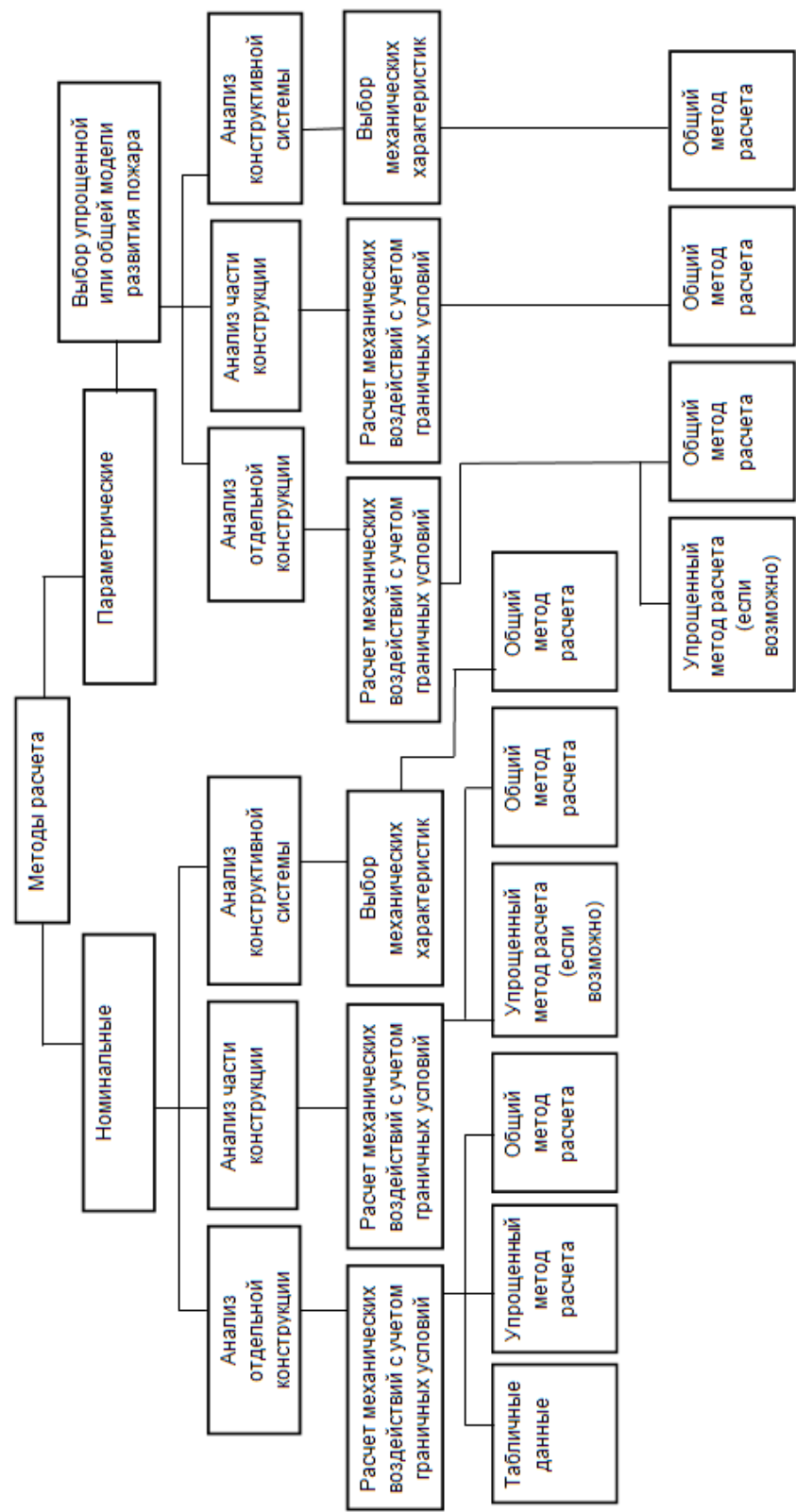


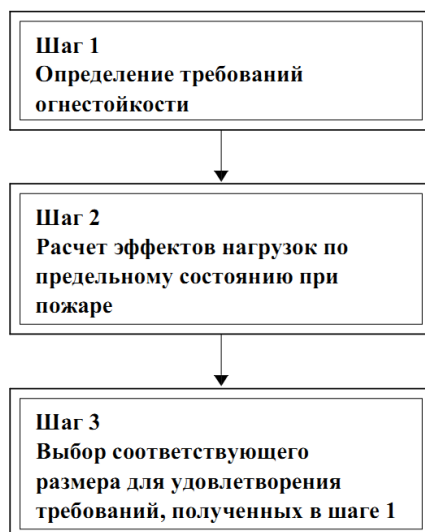
Рисунок 4.1 – Методика проектирования

- выбор соответствующего расчетного сценария пожара (см. СН РК EN 1991-1-2);
- определение соответствующего расчетного пожара (см. СН РК EN 1991-1-2);
- вычисление подъема температуры конструктивных элементов (см. СН РК EN 1993-1-2);
- вычисление механического режима) (см. СН РК EN 1993-1-2).

Подход изображен схематично на Рисунке 4.1 настоящего пособия.

4.2.6 Значительная особенность в определении огнестойкости стальных конструкций – то, что постоянные и временные нагрузки и температурно-временный режим, который будет использоваться для оценки, не содержатся в нормах по материалам, а содержится в соответствующих нормах по воздействиям на конструкции.

4.2.7 В строительных нормах СН РК EN простые методы вычисления основаны на оценке ухудшения свойств материала при повышенной температуре вместе с оценкой соответствующей нагрузки в предельном состоянии при пожаре. Несущая способность вычисляется на основании понижающих коэффициентов, соответствующих расчетному тепловому воздействию и сопоставленных с влиянием нагрузки во время пожара. Общие методы вычисления, как правило, включают в себя использование сложных конечно-элементных моделей и, в общем, не доступны проектировщикам.



**Рисунок 4.2 – Упрощенная процедура строительного противопожарного проектирования**

### 4.3 Проектирование стальных конструкций по СН РК EN 1993-1-2

Методика противопожарного проектирования стальных конструкций в СН РК EN классифицирована согласно типу проводимого расчета. Расчет может быть проведен для единственного элемента, части конструкции или всей конструкции. Варианты, доступные проектировщику, указаны в Таблице 4.1. Простые пособия вычисления представлены для растянутых элементов, сжатых элементов и элементов, работающих на изгиб. Проверка может быть выполнена или относительно несущей способности, или относительно температуры.

**Таблица 4.1 – Альтернативные методы проверки огнестойкости  
по СН РК EN 1993-1-2**

Вид расчета	Сведенные в таблицу данные: предписывающие методы	Упрощенные методы вычисления	Общие методы вычисления
Расчет элемента. Элемент рассматривается отдельно. Непрямые огневые воздействия не учитываются, кроме перепадов температуры	НЕТ	ДА - Стандартный пожар и параметрический пожар - Можно вычислить эпюру распределения температур для защищенных и незащищенных стальных элементов	ДА См. Национальное приложение к СН РК EN 1993-1-2
Расчет части конструкции. Непрямые огневые воздействия в пределах конструкции учитываются, но не имеют зависящего от времени взаимодействия с другой частью сооружения	НЕТ	НЕТ	ДА См. Национальное приложение к СН РК EN 1993-1-2
Расчет всей конструкции. Непрямые огневые воздействия рассматриваются по всей конструкции	НЕТ	НЕТ	ДА См. Национальное приложение к СН РК EN 1993-1-2

#### 4.4 Проектирование с учетом испытаний

Для всех строительных материалов противопожарное проектирование, может быть основано на результатах испытаний на огнестойкость как альтернатива проектированию без учета результатов испытания на огнестойкость. Расчет может быть основан на комбинации опытов и вычислений.

## 5 РАСЧЕТНЫЕ ПОЖАРЫ

### 5.1 Общие положения

5.1.1 Первый этап в строительном инженерном противопожарном проектировании – определить соответствующий сценарий противопожарного расчета. Как правило, это включает рассмотрение пожара в различных секциях в здании, чтобы установить самые подходящие случаи для целей расчета. Выбор расчетного сценария пожара определит выбор расчетного пожара, который будет рассматриваться. Определение тепловых воздействий, которые будут использоваться в последующем расчете строительных конструкций, может быть достигнуто или посредством предписывающего подхода, который полагается на данные от стандартных методов испытания, или рассматривая физические параметры, определенные для каждого здания. Метод учитывает методики вычисления и представляет принципиально новый метод в противоположность традиционному строительному противопожарному проектированию. Есть четыре эффективных уровня или модели, которые могут использоваться, чтобы определить тепловое воздействие. Они описаны в Таблице 5.1 настоящего пособия увеличивающейся сложности.

5.1.2 До настоящего времени решения 3 и 4 уровня были ограничены для научно-исследовательских работ или для сложных и инновационных конструкций. Введение СН РК EN позволит большему числу зданий проектироваться согласно методикам вычисления по 3 и 4 уровню.

**Таблица 5.1 – Методы оценки для теплового воздействия**

Уровень оценки	Модель для теплового воздействия	Описание
Уровень 1	H1	Стандартное воздействие пожара - испытания или сведенные в таблицу данные
Уровень 2	H2	Эквивалентное время продолжительности пожара - связывает серьезность пожара в секции к эквивалентному периоду в стандартной печи
Уровень 3	H3	Параметрическое воздействие - использует физические характеристики пожарной секции как исходные данные
Уровень 4	H4	Продвинутые методы - зональные или полевые модели дают представление о всей реакции секции для необходимой продолжительности времени

### 5.2 Общие правила для вычисления температуры среды

Тепловые воздействия, которые будут использоваться в последующем расчете, могут быть или номинальными, полученными простым вычислением, или основанные на общих методах. Выбор особого сценария строительного противопожарного

проектирования основывается на оценке степени риска, принимающей во внимание вероятные источники воспламенения и любые доступные методы обнаружения/подавления пожара. Расчетный пожар должен быть применим только к одной пожарной секции один раз.

### **5.3 Номинальные температурные режимы**

#### **5.3.1 Общие положения**

Номинальные или стандартные кривые пожара обеспечивают простое средство оценки строительных материалов и элементов в противовес общему набору критериев поведения с учетом точно определенной тепловой и механической нагрузки под воздействием данной нагрузки и условий опирания. Хотя представление о пожаре в здании умозрительно, стандартные кривые пожара не учитывают ни одного из физических параметров, затрагивающих рост и развитие пожара. Номинальные режимы, данные в СН РК EN 1991-1-2, описаны ниже.

#### **5.3.2 Стандартный температурный режим**

5.3.2.1 Стандартная кривая пожара эффективно использовалась много лет, для того чтобы определить относительную работу строительных материалов. Зависимости температура-время изложены в EN 1363:

$$\theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10} \cdot (8 \cdot t + 1); \quad (5.1)$$

где  $\theta_g$ - температура газа в пожарной секции (°C);

t- время (минуты).

5.3.2.2 Один решающий недостаток данной кривой (и других номинальных кривых) - то, что нет нисходящей ветви, то есть, нет фазы охлаждения. Полномасштабные эксперименты показали, что фаза охлаждения может быть очень важным показателем относительно работы конструкций, особенно там, где присутствует жесткое ограничение тепловых перемещений. Данные стандартные зависимости- основы расчета для сведенных в таблицу данных в нормах по огнестойкости для стальных, железобетонных и сталежелезобетонных конструкций. Многие из расчетных методов, доступных в СН РК EN, ограничены по выбору расчетного пожара, схожего со стандартным режимом, так как нет достаточной информации о тепловом и конструктивном поведении отдельных элементов и всей конструкции, находящейся под реальным воздействием пожара.

#### **5.3.3 Температурный режим наружного пожара**

Температурный режим наружного пожара используется для конструктивных элементов фасада, с внешней стороны от главной конструкции. Температурный режим наружного пожара определяют по формуле:

$$\theta_g = 660 \cdot (1 - 0,687 \cdot e^{-0,32 \cdot t} - 0,313 \cdot e^{-3,8 \cdot t}) + 20; \quad (5.2)$$

где  $\theta_g$  и t определены выше.

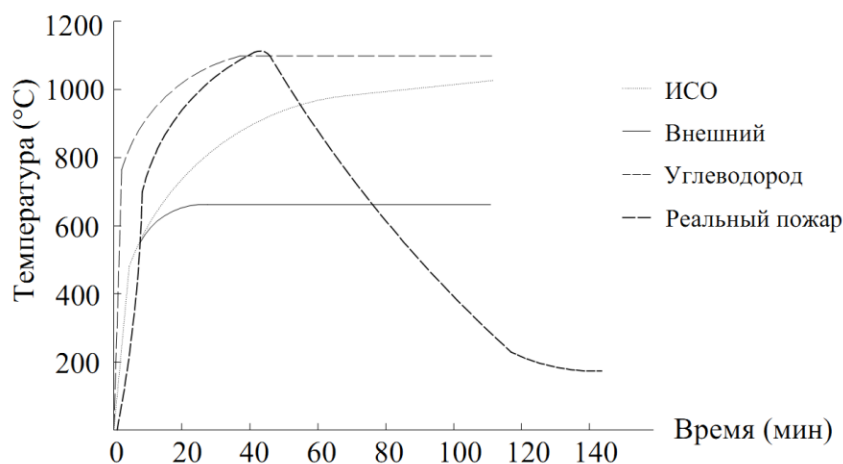


### 5.3.4 Режим горения углеводородов

5.3.4.1 В ситуациях, где нефтехимические продукты или пластмассы формируют значительную часть полной пожарной нагрузки, подъем температуры очень быстр из-за исключительно более высоких теплотворных способностей этих материалов. Поэтому, для таких ситуаций, альтернативный температурный режим может быть найден по формуле:

$$\Theta_g = 1080 \cdot (1 - 0,325 \cdot e^{-0,167 \cdot t} - 0,675 \cdot e^{-2,5 \cdot t}) + 20. \quad (5.3)$$

5.3.4.2 Три номинальных режима, определенных в СН РК EN, показаны на Рисунке 5.1 настоящего пособия вместе с типичным естественным воздействием пожара, состоящим из фазы воспламенения, роста, установившейся фазы и фазы затухания. Существует множество других номинальных режимов пожара, которые используются для определенных обстоятельств, таких как оценка внутренней обшивки туннелей. Данные режимы учтены в строительных нормах СН РК EN.



**Рисунок 5.1 - Номинальные режимы пожара - сравнение с реальными испытаниями на огнестойкость**

### 5.4 Эквивалентная продолжительность пожара

5.4.1 Строительный норматив СН РК EN 1991-1-2 содержит метод для определения соответствующего периода огнестойкости для расчета, основанного на оценке физических характеристик пожарной секции. Это — эффективный «компромисс» между номинальными режимами и поведением реальной пожарной секции. Метод связывает серьезность реального пожара в реальной секции и эквивалентный период воздействия в стандартной испытательной печи. Соответствующие входные данные - количество пожарной нагрузки, размер секции (общая площадь и высота), термодинамические параметры отделки секции и условий вентиляции. Формула в СН РК EN (основанная на удельной пожарной нагрузке, связанной с общей площадью):

$$t_{e,d} = (q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_t) \cdot k_c; \quad (5.4a)$$

где  $t_{e,d}$  - эквивалентная продолжительность пожара для расчета (минуты);

$q_{f,d}$  - расчетная удельная пожарная нагрузка (МДж/м<sup>2</sup>);

$k_b$  - коэффициент пересчета, зависящий от термодинамических параметров отделки;

$w_t$  - коэффициент вентиляции;

$k_c$  - поправочный коэффициент, зависящий от материала (для защищенной стали и железобетона:  $k_c = 1,0$ , там, где не выполнена подробная оценка термодинамических параметров:  $k_b = 0,09$ ).

5.4.2 Коэффициент вентиляции вычисляется по формуле (в отсутствие горизонтальных проемов (окна верхнего света) в секции):

$$w_f = (6/H)^{0,3} \cdot [0,62 + 90 \cdot (0,4 - \alpha_v)^4]; \quad (5.4б)$$

где  $H$  - высота пожарной секции (м);

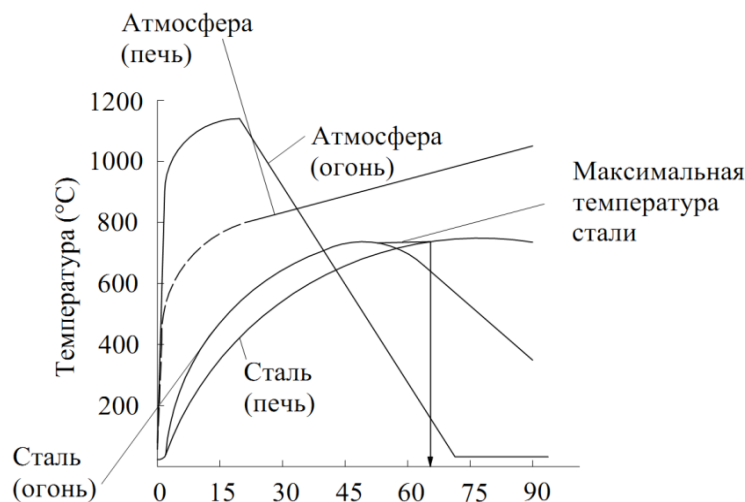
$\alpha_v$  - параметр, определяемый по формуле:

$$\alpha_v = A_v/A_f \quad (5.4в)$$

где  $A_v$  и  $A_f$  - вентилируемая и общая площадь соответственно (м<sup>2</sup>).

5.4.3 Проверка выполнена тогда, когда огнестойкость элемента больше чем временное эквивалентное значение. Понятие временной эквивалентности рассмотрено на Рисунке 5.2 настоящего пособия максимальной температуры конструктивного элемента и времени, взятого для этого элемента, чтобы достичь идентичной температуры в стандартном испытании в печи.

Понятие временной эквивалентности проиллюстрировано численным примером.



**Рисунок 5.2 - Понятие временной эквивалентности  
(в отношении элемента конструкционной стали)**

#### ПРИМЕР 1 Вычисление эквивалентной продолжительности пожара

##### 1) Исходные данные

Необходимо вычислить соответствующий период огнестойкости для защищенной стальной балки в небольшом офисе с границами из несгораемой конструкции (этажи секции и стены).

Рассматривается небольшая пожарная секция в пределах административного здания - см. расчетные данные в Таблицах с 5.2 по 5.5 приведенных ниже.

Таблица 5.2 - Геометрические данные

Описание	Данные
Общая площадь $A_f$ (м <sup>2</sup> )	36 · (6м × 6м)
Площадь вентиляции $A_v$ (м <sup>2</sup> )	7.2 (3.6м ширина × 2м высота)
Высота вентиляционных проемов $h$ (м)	2
Высота секции $H$ (м)	4

Таблица 5.3 –Тепловые данные материалов

Элемент	Материал	Тепловая инерция (значение $b$ - Дж/м <sup>2</sup> · с <sup>1/2</sup> К)	Площадь (м <sup>2</sup> )
Крыша	Бетон	2280	36
Пол	Гипсовый картон	520	36
Стены	Гипсовый картон	520	76,8

Таблица 5.4 – Коэффициент  $k_b$  для учета термодинамических параметров отделки секции

Термодинамические параметры	Данные
$b = (\rho \cdot c \cdot \lambda)^{1/2}$ (Дж/м <sup>2</sup> · с <sup>1/2</sup> К)	$k_b \cdot (\text{мин} \cdot \text{м}^2/\text{М} \cdot \text{Дж})$
$b > 2500$	0,04
$720 \leq b \leq 2500$	0,055
$b < 720$	0,07

Таблица 5.5 – Нормативная удельная пожарная нагрузка

Функциональное назначение	Нормативная удельная пожарная нагрузка $q_{f,k}$ (М · Дж/м <sup>2</sup> ) – 80% -ый квантиль
Жилое	948
Больницы	280
Отели	377
Офисы	511
Школы	347

2) Решение

Для данного примера используем соответствующие значения:

- расчетная удельная пожарная нагрузка  $q_{f,d} = q_{f,k} = 570 \text{ МДж/м}^2$ ;
- коэффициент вентиляции  $w_f = 0,863 \cdot (a_v = 0,2)$ ;
- коэффициент учета термодинамических параметров  $k_b = 0,07$  ( $b = 945 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с}^{1/2}\text{К}$ );
- коэффициент строительных материалов  $k_c = 1,0$  (защищенная стальная балка);

Тогда из Формулы настоящего пособия: (5.4a)

$$t_{e,d} = 570 \times 0,863 \times 0,07 = 34 \text{ минуты}$$

Поэтому противопожарной защиты на 60 минут достаточно.

## 5.5 Параметрические температурные режимы

5.5.1 Наряду с временным эквивалентным подходом, параметрические пожары – пример простых методов вычисления для определения температурно-временных отношений для внутренней среды в секции. Текущий подход был изменен (в цели) в последовательных проектах противопожарной части СН РК EN 1991. Основная формулировка осталась в значительной степени неизменной. Параметрический подход обеспечивает быструю и легкую аппроксимацию температур газа секции, которые идеально подходят для использования на современных электронных таблицах. Подход экстенсивно утверждался долгое время. Применим только к фазе, следующей за фазой объемного воспламенения, которая имеет первоочередную задачу, когда рассматриваются конструктивные проблемы и принимает равно распределенную температуру в пределах секции. Основная формулировка в Приложении А СН РК EN 1991-1-2 следующая:

$$\theta_g = 20 + 1325 \cdot (1 - 0,324 \cdot e^{-0,2t^*} - 0,204 \cdot e^{-1,7t^*} - 0,472 \cdot e^{-19t^*}) \quad (5.5)$$

где  $\theta_g$ - температура в пожарной секции ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t^* = t \Gamma(\text{ч})$ ;

$t$  - время (ч);

$\Gamma = [O / b]^2 / (0,04 / 1160)^2$ ;

$b = \sqrt{(\rho \cdot c \cdot \lambda)} \text{ (Дж/м}^2 \cdot \text{с}^{1/2}\text{К)}$ ;

$O$  - коэффициент проемности, определяемый по формуле:  $O = (A_v \cdot \sqrt{h} / A_t) \text{ (м}^{1/2}\text{)}$ ;

$A_v$  - площадь вертикальных проемов ( $\text{м}^2$ );

$h$  - высота вертикальных проемов (м);

$A_t$  - общая площадь ограждающих конструкций ( $\text{м}^2$ );

$\rho$  - плотность ограждающих конструкций ( $\text{кг/м}^3$ );

$c$  - удельная теплоемкость ограждающих конструкций ( $\text{Дж/кг} \cdot \text{К}$ ); и

$\lambda$  - теплопроводность ограждающих конструкций ( $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$ ).

5.5.2 Температура в пределах любой секции, как предполагается, изменяется как простая показательная функция параметрически зависящая от времени, которое в свою очередь зависит от изменения площади вентиляции и свойств отделки секции. Значения 0,04 и 1160 относятся к коэффициенту проемности и термодинамическим параметрам секции, используемой в развитии подхода. Параметрическое вычисление с теми же самыми значениями соответствует температурно-временной характеристике, подобной стандартному режиму пожара.

5.5.3 Процедура вычисления предоставляет инженеру уровень подъема температуры относительно времени. Чтобы оценить продолжительность пожара, нужно рассмотреть соотношение между пожарной нагрузкой и проемностью. Максимальная температура в фазе нагрева происходит за время  $t_{\max}$  определяемое по формуле:

$$t_{\max} = \max[0,2 \times 10^{-3} \dots; t_{\lim}]; \quad (5.6)$$

где  $q_{t,d}$  - расчетное значение удельной пожарной нагрузки, связанной с полной площадью поверхности ограждающих конструкций (значения  $q_{t,d}$  должны быть в диапазоне 50-1000 МДж/м<sup>2</sup>);

$t_{\lim}$  - минимальное значение продолжительности пожара, основанного на медленных, средних или быстрых темпах роста пожара. Для офисных зданий должен быть принят средний темп роста пожара, соответствующий значению  $t_{\lim}$ , равному 20 минутам.

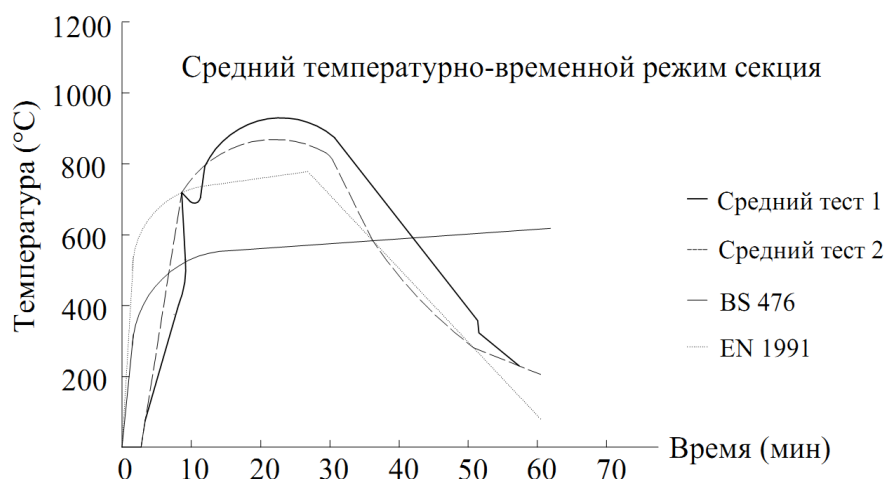
5.5.4 Для большинства практических комбинаций пожарной нагрузки, геометрия секции и коэффициент проемности  $t_{\max}$  будет превышать 20-минутный предел. Температурные режимы для фазы затухания определяют:

$$\theta_g = \theta_{\max} - 625 \cdot (t^* - t_{\max}^*) \quad \text{для } t_{\max}^* \leq 0,5 \quad (5.7a)$$

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250 \cdot (3 - t_{\max}^*)(t^* - t_{\max}^*) \quad \text{для } t_{\max}^* < 2,0 \quad (5.7b)$$

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250 \cdot (t^* - t_{\max}^*) \quad \text{для } t_{\max}^* \geq 2,0 \quad (5.7c)$$

Пример 2 настоящего пособия показывает параметрическое вычисление для типичной офисной секции, в то время как Рисунок 5.3 показывает расчетную температурно-временную характеристику вместе с испытанием, показывающим точность подхода. Читатель отметит общие черты с методикой вычисления по временной эквивалентности, обсужденной выше.



**Рисунок 5.3 – Сравнение между параметрическим расчетом и результатами испытаний**

#### ПРИМЕР 2 Параметрическое вычисление

##### 1) Исходные данные

У типичной пожарной секции в пределах административного здания, где общая площадь 6 м × 6 м и высота помещения 3,4 м. На фасаде есть единственный оконный проем 3,6 м шириной и 2 м высотой. В Таблице 5.6 указаны геометрические параметры, требуемые для вычисления температурно-временной характеристики секции.

Таблица 5.6 – Геометрические параметры для параметрического вычисления

Описание	Данные
Общая площадь $A_f$ (м <sup>2</sup> )	36 (6 м x 6 м)
Площадь вентиляции $A_v$ (м <sup>2</sup> )	7,2 (3,6 м ширина x 2 м высота)
Общая площадь границ секции (включая окна) (м <sup>2</sup> )	$153,6 \cdot [(2 \times 6 \times 6) + (4 \times 3,4 \times 6)]$
Высота вентиляционного проема $h$ (м)	2
Коэффициент проемности $O \cdot (м^{1/2}) = (A_v \cdot \sqrt{h})/A_t$	0,066

## 2) Решение

Стены и пол выровнены гипсовым картоном, потолок выполнен из сборных железобетонных пластин. В Таблице 5.7 указаны свойства материала, требуемые для вычисления температурно-временной характеристики секции.

Значение  $b$ , которое будет использоваться для расчета, является взвешенным средним числом, где  $b = \Sigma \cdot (b_j \cdot A_j \cdot /A_j)$ . Здесь соответствующее значение  $b$ , которое будет использоваться в расчете, равняется  $945 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с}^{1/2}\text{К}$ .

Таблица 5.7 – Тепловые данные для параметрического вычисления

Конструкция	Материал	Значение тепловой инерции $b$ (Дж/м <sup>2</sup> · с <sup>1/2</sup> К)	Площадь (м <sup>2</sup> )
Крыша	Бетон	2280	36
Пол	Гипсовый картон	520	36
Стены	Гипсовый картон	520	76,8

Информация о термодинамических параметрах обычно используемых строительных материалов не предоставлена в СН РК EN. Некоторое руководство доступно в литературе, и это указано в Таблице 5.8. Несоответствия в значении  $b$  показательны из-за изменений  $v$ , предположительно, подобных материалах. Ясно, что необходимо больше информации в этой области. Везде, где возможно, проектировщики должны консультироваться с изготовителями, чтобы получить точные данные по материалам для вычислений.

Таблица 5.8 – Термодинамические параметры обычно используемых строительных материалов

Материал	Значение тепловой инерции $b$ (Дж/м <sup>2</sup> · с <sup>1/2</sup> К)
Обычный бетон	2034,7
Легкий бетон	1122,5

**Таблица 5.8 – Термодинамические параметры обычно используемых строительных материалов (продолжение)**

Материал	Значение тепловой инерции $b$ (Дж/м <sup>2</sup> · с <sup>1/2</sup> К)
Конструкционная сталь	13 422,3
Панель силиката кальция	151,8
Древесина	223,8
Кирпич	1521,5

Нормативная удельная пожарная нагрузка, в общем, взята как 80%-ое число квантиля воспроизведенного в СН РК EN. В этом случае используется расчетная удельная пожарная нагрузка 570 МДж/м<sup>2</sup>. Удельные пожарные нагрузки указаны и в СН РК EN 1991-1-2, и в Таблице 5.9 со значениями из СН РК EN. Расчетные значения не всегда в согласии друг с другом в различных документах и, во всех случаях, необходимо тщательно проверять каждый принятый в расчете параметр. Необходимо совершить большую работу, чтобы усовершенствовать эти критические расчетные параметры.

**Таблица 5.9 – Удельные пожарные нагрузки**

Функциональное назначение	Нормативная удельная пожарная нагрузка (МДж/м <sup>2</sup> ) – 80%-ый квантиль
Жилье	948
Больница	280
Отель	377
Офис	511
Школа	347

С этими входными данными, Формулы (5.5) и (5.6) используются для вычислений температурно-временных характеристик секции и ожидаемой продолжительности. В этом случае параметрическое уравнение подразумевает максимальную температуру в 995°C и время продолжительности максимальной температуры равное 24 минутам. Рассчитанная характеристика показана на Рисунке 5.3 по сравнению с измеренным значением двух реальных испытаний на огнестойкость.

## **5.6 Внешняя температура среды**

5.6.1 Внешние конструктивные элементы могут быть под огневым воздействием из-за пожара и излучения тепла через проемы в здании. Приложение В СН РК EN 1991-1-2 обеспечивает расчетный подход для того, чтобы определить тепловые воздействия для наружных конструкций.

5.6.2 Метод учитывает вычисление максимальной температуры в секции, размера и температуры пера пламени, исходящего из проемов, и параметров теплопередачи и конвекции.

### **5.7 Общие модели пожара**

При определенных обстоятельствах может быть необходимо пойти более широким путем, чем номинальные воздействия пожара или простые методы вычисления. Общие методы, включая зональные модели, основанные на решении уравнений сохранения массы и энергии или более сложные модели вычислительной гидродинамики, могут использоваться, чтобы предоставить информацию, основанную на нахождении термодинамических и аэродинамических переменных в различных точках в пределах контролируемой зоны. Такие модели использовались эффективно много лет, чтобы смоделировать движение дыма и отравляющих газов и теперь расширяются для моделирования температурной среды для сценариев пожара после фазы объемного воспламенения. Такие сложные модели не общедоступны инженерам - строителям, ответственным за инженерное противопожарное проектирование зданий, и, в общем, должны использоваться научно-исследовательскими институтами или консультантами-специалистами для противопожарного проектирования.

## **6 ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕМЕНТОВ**

### **6.1 Общие положения**

Вычисление температур среды в пределах пожарной секции, рассмотренной в Разделе 5 настоящего пособия, является первым шагом в рациональном процессе инженерного противопожарного проектирования. Следующий шаг – определить, или посредством вычисления или посредством ссылки на опубликованные данные, температурное распределение в пределах строительных элементов.

### **6.2 Коэффициенты сечения для стальной конструкции**

Коэффициент сечения  $A/V$  является удобным параметром, чтобы измерить тепловую характеристику стального элемента. В основном уровень, при котором в стальной балке или колонне увеличивается температура, пропорционален площади поверхности ( $A$ ) стали под воздействием пожара, и обратно пропорционален к массе или объему ( $V$ ) сечения. В пожаре элемент с низким коэффициентом сечения будет нагреваться медленнее, чем такой же элемент с высоким коэффициентом сечения.

Вычисление коэффициента сечения для различных типов незащищенного сечения показано на Рисунке 6.1 настоящего пособия.



### 6.3 Незащищенные стальные изделия

В СН РК EN 1993-1-2 принят простой расчетный подход для вычисления тепловой характеристики незащищенных стальных элементов. Данный подход может быть расширен на другие металлы, включая ковкое железо, чугун, алюминиевые сплавы и нержавеющие стали (см. Рисунок 6.1 настоящего пособия).

Принимая эквивалентное равномерное температурное распределение в поперечном сечении, приращение температуры  $\Delta\theta_{a,t}$ [K] в незащищенном стальном элементе во время временного интервала  $\Delta t$  находится по формуле:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \cdot \frac{A_m/V}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \dot{h}_{net,d} \cdot \Delta t \quad \text{для } \Delta t \leq 5c \quad (6.1)$$

где  $\rho_a$  - плотность стали (кг/м<sup>3</sup>);

$A_m$  - площадь поверхности элемента на единицу длины (м<sup>2</sup>);

$A_m/V$  - коэффициент сечения для незащищенных стальных элементов (м<sup>-1</sup>);

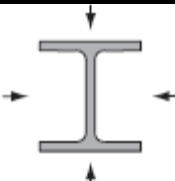
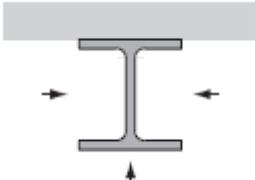
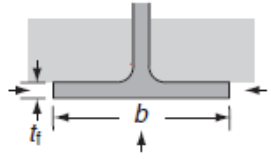
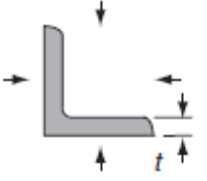
$c_a$  - удельная теплоемкость стали (Дж/кг · К);

$\dot{h}_{net,d}$  - результирующий тепловой поток на единицу площади (В/м<sup>2</sup>);

$k_{sh}$  - поправочный коэффициент для эффекта затенения ( $k_{sh} = 1,0$ , если эффект незначителен);

$\Delta t$  - временной интервал (с);

$V$  - объем элемента на единицу длины (м<sup>3</sup>).

Вид	Описание	Коэффициент сечения $A_m/V$
	Открытое сечение под воздействием огня со всех сторон	$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{периметр}}{\text{площадь поперечного сечения}}$
	Открытое сечение под воздействием огня с трех сторон	$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{поверхность под воздействием огня}}{\text{площадь поперечного сечения}}$
	Полка двутаврового профиля под воздействием огня с трех сторон	$\frac{A_m}{V} = \frac{b+2 \cdot t_f}{b t_f}$ или $\frac{A_m}{V} \approx \frac{1}{t_f}$ для $t_f \ll b$
	Уголок под воздействием огня со всех сторон	$\frac{A_m}{V} = \frac{2}{t}$

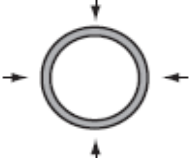
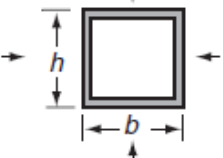
	Труба под воздействием огня со всех сторон	$\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t}$
	Полый профиль или коробчатое сечение на сварке под воздействием огня со всех сторон	$\frac{A_m}{V} = \frac{2 \cdot (b + h)}{\text{площадь поперечного сечения}}$ <p>Или <math>\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t}</math> для <math>t \ll b</math></p>

Рисунок 6.1 - Коэффициент сечения для незащищенных стальных элементов

Для поперечных сечений с выпуклой формой полностью под воздействием огня, таких как прямоугольные или круглые полые профили, эффект затенения не сыграет роли, и принимается  $k_{sh} = 1,0$ . Иначе, поправочный коэффициент для эффекта затенения  $k_{sh}$  находится:

$$k_{sh} = \begin{cases} \frac{0,9 \cdot [A_m/V]_b}{A_m/V} & \text{для двутавровых сечений под номинальным воздействием огня} \\ \frac{[A_m/V]_b}{A_m/V} & \text{для других случаев} \end{cases}$$

где

$A_m/V \geq 10 \text{ м}^{-1}$  и  $[A_m/V]_b$  предельные значения коэффициента сечения.

#### 6.4 Стальные конструкции изолированные противопожарной защитой

СН РК EN 1993-1-2 предоставляет простой расчетный подход для изолированных стальных элементов с неактивными огнезащитными материалами. Изоляционные материалы могут быть в форме профилированных или коробчатых облицовок, но, не включая вспенивающиеся покрытия (см. Рисунок 6.2 настоящего пособия). Принимая равномерное температурное распределение, температурное увеличение  $\Delta\theta_{a,t}$  изолированного стального элемента для время временного интервала  $\Delta t \leq 30(\text{с})$  находится по формуле:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p \cdot A_p/V}{d_p \cdot c_a \cdot \rho_a} \cdot \frac{(\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{(1 + \phi/3)} \cdot \Delta t \cdot (e^{\phi/10} - 1) \cdot \Delta\theta_{g,t}; \text{ но } \Delta\theta_{a,t} \geq 0 \text{ если } \Delta\theta_{g,t} > 0; \quad (6.2)$$

при

$$\phi = \frac{c_p \cdot \rho_p}{c_a \cdot \rho_a} \cdot d_p \cdot A_p/V.$$

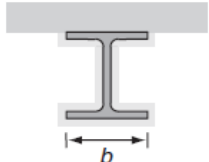
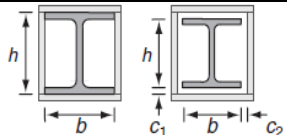
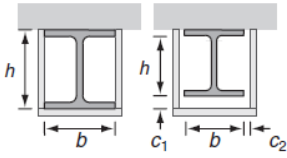
Вид	Описание	Коэффициент сечения $A_p/V$
	Облицовка контура однородной толщины	$\frac{A_p}{V} = \frac{\text{периметр стали}}{\text{площадь поперечного сечения стали}}$
	Облицовка контура однородной толщины под воздействием огня с трех сторон	$\frac{A_p}{V} = \frac{\text{периметр стали} - b}{\text{площадь поперечного сечения стали}}$
	Полая облицовка однородной толщины (допуск $c_1$ и $c_2 < h/4$ )	$\frac{A_p}{V} = \frac{2 \cdot (b + h)}{\text{площадь поперечного сечения стали}}$
	Полая облицовка однородной толщины под воздействием огня со всех сторон (допуск $c_1$ и $c_2 < h/4$ )	$\frac{A_p}{V} = \frac{2 \cdot h + b}{\text{площадь поперечного сечения стали}}$

Рисунок 6.2 – Коэффициент сечения для изолированных стальных элементов

где  $\lambda_p$  - теплопроводность огнезащитного материала (Вт/м · К);

$\theta_{a,t}$  - температура стали во время  $t$  (°C);

$\theta_{g,t}$  - температура окружающей среды во время  $t$  (°C);

$\Delta\theta_{g,t}$  - увеличение температуры окружающей среды для временного интервала  $\Delta t$  (K);

$\rho_a$  - плотность стали (кг/м<sup>2</sup>);

$\rho_p$  - плотность огнезащитного материала (кг/м<sup>3</sup>);

$A_p/V$  - коэффициент сечения для стальных элементов, изолированных огнезащитным материалом (м<sup>-1</sup>);

$A_p$  - соответствующая область огнезащитного материала на единицу длины (м<sup>2</sup>);

$c_a$  - зависящая от температуры удельная теплоемкость стали (Дж/кг · К);

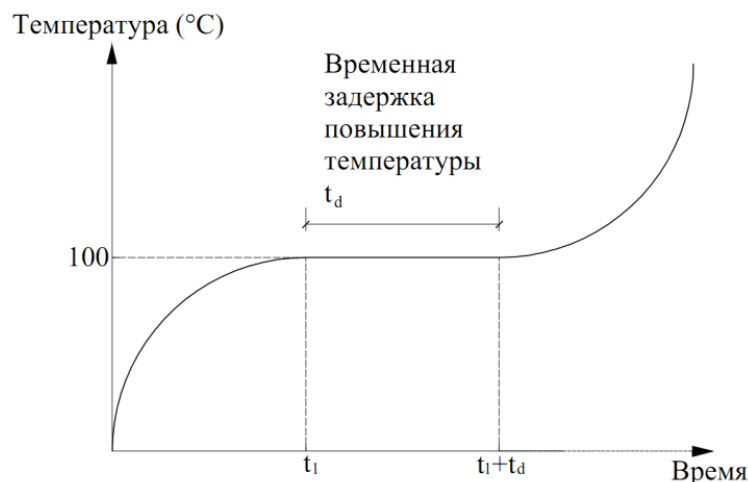
$c_p$  - независимая от температуры удельная теплоемкость огнезащитного материала (Дж/кг · К);

$d_p$  - толщина огнезащитного материала (м);

$\Delta t$  - временной интервал (с);

$V$  - объем стального элемента на единицу длины (м<sup>3</sup>).

Рисунок 6.2 настоящего пособия иллюстрирует некоторые расчетные значения коэффициентов сечения  $A_p/V$  для изолированных стальных элементов. Стоит отметить, что площадь  $A_p$  огнезащитного материала, в общем, взята как площадь его внутренней поверхности. Для полой облицовки с просветом вокруг стальных элементов значение  $A_p$  взято как для полой облицовки без просвета.



**Рисунок 6.3 – Оценка временной задержки повышения температуры для материалов защиты**

Для сырых огнезащитных материалов увеличение температуры стали,  $\Delta\theta_a$  может быть скорректировано, чтобы учесть временную задержку  $t_d$  в повышении температуры стали, когда она достигает  $100^\circ\text{C}$ , из-за скрытой высокой температуры испарения, как показано на Рисунке 6.3 настоящего пособия.

## 7 СТАТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

### 7.1 Общие положения

Точная оценка поведения элемента конструкции во время пожара требует знания о снижении свойств материала при увеличении температуры и точной оценки нагрузок, действующих на конструкцию во время пожара. Нагрузки оказывают значительное влияние во время пожара, это отражено в требовании для реальных уровней нагрузки, так чтобы нагрузки действовали во время стандартных испытаний на огнестойкость. Строительные нормы СН РК EN включают влияние нагрузки не только относительно стальных и сталежелезобетонных конструкций, но также и для элементов железобетона.

### 7.2 Коэффициенты надежности для нагрузок

Проектировщик должен быть знаком с СН РК EN 1990 (основы проектирования), который обеспечивает необходимые комбинации нагрузок (для нормальной расчетной температуры) и с СН РК EN 1991-1-2 (противопожарная часть) который в дополнение к определению доступных параметров для тепловых воздействий при расчете температуры (см. Раздел 5 настоящего пособия), также рассматривает механические воздействия при расчете строительных конструкций. В общем СН РК EN 1991-1-2 определяет коэффициент надежности для временной (принимая ведущее переменное воздействие) нагрузки в предельном состоянии при пожаре. Огневое воздействие – аварийная расчетная

ситуация первого предельного состояния по несущей способности (см. СН РК EN 1990) формы:

$$E_d = E \cdot (G_{k,j}; R; A_d \cdot (\Psi_{1,1} \text{ или } \Psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1}; \Psi_{2,i} Q_{k,i}) \text{ для } j \geq 1; i > 1 \quad (7.1)$$

где  $E$  - эффект воздействий ( $E_d$  – расчетное значение эффекта воздействий);

$G$  - постоянное воздействие (постоянная нагрузка);

$R$  - соответствующее нормативное значение предварительного напряжения (где необходимо);

$A_d$  - расчетное значение особого (аварийного) воздействия;

$\Psi_1$  - коэффициент для значения переменного воздействия (см. Таблицу 7.1);

$\Psi_2$  - коэффициент для квазипостоянного значения переменного воздействия;

$Q_k$  - нормативное значение одного переменного воздействия ( $Q_{k,1}$  – нормативное значение ведущего переменного воздействия – часто это временная нагрузка).

В ситуации при пожаре,  $A_d$  – влияние пожара непосредственно на конструкцию (нагрузка от теплового расширения, перераспределения температур, и т.д.) Требование СН РК EN 1991-1-2: «Непрямые воздействия от смежных элементов не нужно рассматривать, когда требования противопожарной безопасности отнесены к этим элементам при стандартных условиях пожара».

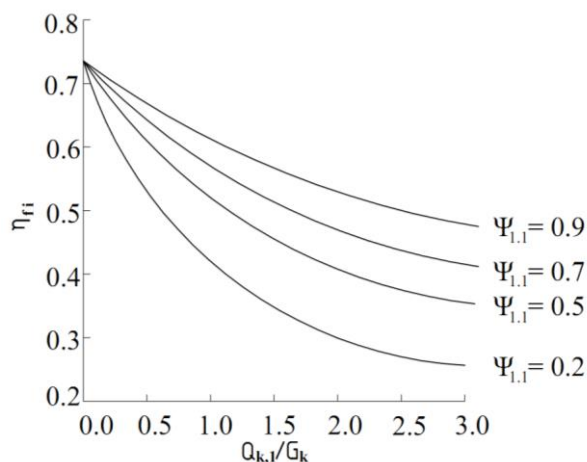
**Таблица 7.1 – Значения  $\psi_{fi}$**

Воздействие	Коэффициент $\Psi_1$	Коэффициент $\Psi_2$
1 Временные нагрузки в зданиях:		
- категория А: внутренний, жилой	0,5	0,3
- категория В: офисы	0,5	0,3
- категория С: области конгрегации	0,7	0,6
- категория D: торговые районы	0,7	0,6
- категория Е: склады	0,9	0,8
- категория F: проезжая часть < 30 кН	0,7	0,6
- категория G: проезжая часть 30 – 160 кН	0,5	0,3
- категория H: крыши	0	0
2 Снеговая нагрузка: $H < 1000 \text{ м. а. с. л.}$	-	0
3 Ветровые нагрузки на здания	0,2	0

Кроме того, «Временные и ограниченные расширения и деформации, вызванные изменениями температуры в результате воздействия пожара, например, усилия и моменты необходимо рассматривать за исключением тех:

- которые могут быть априори признаны незначительными или благоприятными;
- которые учтены консервативно выбранными моделями опирания и граничными условиями и/или неявно рассмотрены консервативными требованиями противопожарной безопасности».

Строительные нормы СН РК EN 1990 разрешают использование  $\Psi_1$  или  $\Psi_2$  с главным переменным воздействием (в общем, временная нагрузка). СН РК EN 1991-1-2 рекомендует использование  $\Psi_2$  (использование  $\Psi_1$  детализовано в Таблице 7.1 и на Рисунке 7.1 настоящего пособия).



**Рисунок 7.1 – Отношения между понижающим коэффициентом  $\eta_{fi}$  и отношением постоянных и временных нагрузок для значений  $\Psi_{fi}$**

### 7.3 Расчетные значения нагрузок

#### 7.3.1 Общие положения

Понятие уменьшенных коэффициентов надежности для предельного состояния при пожаре будет объяснено с использованием расчетного примера. Вычисления для расчета колонны в шестизэтажном жестком каркасе на сопротивление нагрузке, приложенной на площади (6 м × 9 м). Расчетное продольное усилие в колонне в предельном состоянии при пожаре вычисляется с использованием соответствующих коэффициентов надежности.

#### 7.3.2 Нагрузка

Постоянные воздействия (G):

- равномерно распределенная нагрузка (РРН) по общей площади  $G_k = 2,00 \text{ кН/м}^2$

Переменные воздействия (Q):

- равномерно распределенная нагрузка (РРН) по общей площади  $Q_k = 3,50 \text{ кН/м}^2$

#### 7.3.3 Расчетные нагрузки при нормальной температуре

Коэффициенты нагрузок:

- коэффициент нагрузок для постоянных воздействий  $\gamma_G = 1,35$  (СН РК EN 1990 Таблица А1.2В и НП);

- коэффициент нагрузок для переменных воздействий  $\gamma_Q = 1,50$  (СН РК EN 1990 Таблица А1.2В и НП).

Расчетные значения нагрузок – предельное состояние по потере несущей способности:

- РРН на пол  $W = (\gamma_G \cdot G_k) + (\gamma_Q \cdot Q_k) = 7,95 \text{ кН/м}^2$ ;
- расчетная осевая сила  $N_{Ed} = 6\text{м} \times 9\text{м} \cdot W \cdot 5 = 2146,50 \text{ кН}$ .

### 7.3.4 Расчетные нагрузки предельного состояния при пожаре

Для предельного состояния при пожаре, коэффициенты нагрузки ( $\gamma_i$ ) не применяются к постоянным или к переменным воздействиям.

Коэффициент комбинации для переменного воздействия  $\Psi_1 = 0,50$ . Это – значение для офисов из Таблицы 7.1 настоящего пособия.

ПРИМЕЧАНИЕ СН РК EN 1990 позволяет использование  $\Psi_1$  или  $\Psi_2$  с главным переменным воздействием.

### 7.3.5 Расчетные значения воздействий – ситуация со строительным противопожарным проектированием для первого предельного состояния по несущей способности

РРН на пол:  $W = G_k + (\Psi_1 \cdot Q_k) = 3,75 \text{ кН/м}^2$

Расчетная осевая сила:  $N_{Ed} = 6\text{м} \times 9\text{м} \cdot W \cdot 5 = 1012,50 \text{ кН}$

## 7.4 Определение уровня нагрузки, ее интенсивности и коэффициента использования

Несущая способность элемента в предельном состоянии при пожаре оценивается по величине нагрузки, приложенной во время пожара по сравнению с несущей способностью при нормальной температуре. Понятие отношения нагрузки очень полезно относительно сведенных в таблицу данных, так как это учитывают типовые решения, которые покрывают широкий диапазон возможного применения.

Всюду по всем противопожарным частям соответствующих СН РК EN используется понятие понижающего коэффициента в предельном состоянии при пожаре, где понижающий коэффициент  $\eta_{fi} = (G_k + \Psi_{fi} \cdot Q_{k1}) / (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1})$  для комбинаций нагрузки (см. Формулу (6.10) в СН РК EN 1990).

### 7.4.1 Уровень нагрузки (n)

Данный термин используется для определения огнестойкости колонн железобетона и связывает нагрузку, приложенную во время пожара с несущей способности при нормальной температуре:

$$n = N_{0Ed,fi} / [0,7 \cdot (A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd})] ; \quad (7.2)$$

где  $N_{0Ed,fi}$  - осевая нагрузка при условиях пожара (кН);

$A_c$  - площадь железобетона ( $\text{мм}^2$ );

$f_{c,d}$  - расчетный предел прочности железобетона при сжатии ( $\text{Н/мм}^2$ );

$f_{yd}$  - площадь стали ( $\text{мм}^2$ );

$A_s$  - расчетный предел прочности стали ( $\text{Н/мм}^2$ ).

Нагрузка, приложенная во время пожара, зависит от выбора коэффициента надежности по нагрузке в предельном состоянии при пожаре. Допустимые значения изложены в СН РК EN 1990, и выбор сделан из Национального Приложения части СН РК EN 1991. Для наиболее распространенных случаев (жилье и офисы) значение коэффициента для приложенной нагрузки будет  $n=0,5$ , то есть значение 0,5 необходимо умножить на значение при нормальной температуре. Как консервативное предположение, для вычисления уровня нагрузки,  $N_{0Ed,fi}$  может быть взято как  $N_{0Ed,fi}$  ( $\eta_{fi} = 0,7$ ) если не вычислено явно.

#### **7.4.2 Коэффициент использования ( $\mu_{fi}$ )**

Коэффициент использования - это отношение нагрузки, приложенной в предельном состоянии при пожаре к нагрузке, приложенной при нормальной температуре, и продиктовано выбором коэффициента надежности для предельного состояния при пожаре. Используется в расчетах колонн и несущих стен:

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}}, \quad (7.3)$$

где  $N_{Ed,fi}$  - расчетная осевая нагрузка в ситуации при пожаре (кН)

$N_{Rd}$  - расчетная несущая способность колонны при нормальных температурных условиях (кН).

Понижающий коэффициент  $\eta_{fi}$  может использоваться вместо  $\mu_{fi}$  для уровня расчетной нагрузки как консервативное предположение, поскольку  $\eta_{fi}$  предполагает, что элемент полностью загружен при нормальных температурных условиях.

### **8 ТЕПЛОВЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ**

#### **8.1 Общие положения**

Строительные нормы СН РК EN 1993-1-2 дают представление о свойствах материала горячекатаной углеродистой стали, нержавеющей стали, тонкостенной стали, болтов и сварного шва.

#### **8.2 Сталь**

##### **8.2.1 Общие положения**

8.2.1.1 Горячекатаная углеродистая сталь начинает терять прочность при температурах выше  $300^\circ\text{C}$ . Затем продолжает устойчиво терять прочность до уровня



800°C. После этой температуры небольшая остаточная прочность уменьшается медленнее, пока сталь не достигнет точки плавления около 1500°C. Это поведение характерно для горячекатаных арматурных сталей. Для холоднокатаных сталей, включая арматуру, происходит более быстрое уменьшение прочности после 300°C. В дополнение к уменьшению прочности и жесткости, сталь подвержена явлению ползучести при температурах свыше 450°C.

8.2.1.2 Высокотемпературная ползучесть зависит от уровня напряжений и уровня нагрева. Возникновение ползучести указывает, что напряжение и температурная предыстория должны быть приняты во внимание при оценке прочности и деформации стальных конструкций в условиях пожара. Включить в расчет ползучесть явно в пределах аналитических моделей сложно. Для простых расчетных методик, представленных в СН РК EN, признано, что влияние ползучести неявно рассматривается в зависимостях напряжение – удлинение при изменении температуры.

8.2.1.3 Термические и механические свойства различных типов стали должны быть рассмотрены при повышенных температурах. Они включают:

- горячекатаную углеродистую сталь
- нержавеющую сталь
- тонкостенную сталь.

## 8.2.2 Горячекатаная углеродистая сталь

### 8.2.2.1 Общие положения

В СН РК EN 1993-1-2 представлены свойства материалов для горячекатаной стали классов S235, S275 и S355 в соответствии с EN 10025.

ПРИМЕЧАНИЕ Допускается применять отечественные марки стали, соответствующие требованиям EN 10025 (см. Приложение Б настоящего пособия).

### 8.2.2.2 Термические свойства

Свойства теплового расширения, теплопроводности и удельной теплоемкости стали зависят от температуры стали.

а) коэффициент термического удлинения стали  $\Delta l/l$  может быть определен по формуле:

$$\frac{\Delta l}{l} = 1,2 \times 10^{-5} \cdot \theta_a + 0,4 \times 10^{-8} \cdot \theta_a^2 - 2,416 \times 10^{-4} \text{ если } 20^\circ\text{C} \leq \theta_a < 750^\circ\text{C} \quad (8.1a)$$

$$\Delta l/l = 1,1 \times 10^{-2} \text{ если } 750^\circ\text{C} \leq \theta_a < 860^\circ\text{C} \quad (8.1b)$$

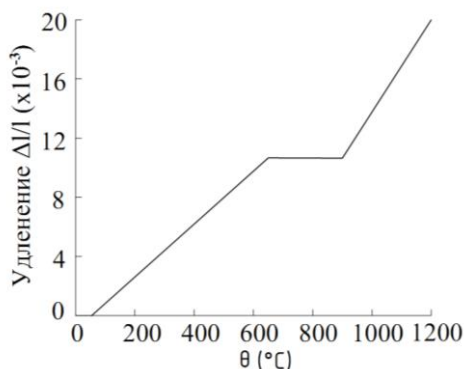
$$\Delta l/l = 2 \times 10^{-5} \cdot \theta_a - 6,2 \times 10^{-3} \text{ если } 860^\circ\text{C} \leq \theta_a < 1200^\circ\text{C} \quad (8.1c)$$

где  $l$  - длина при 20°C;

$\Delta l$  - вызванное температурой удлинение;

$\theta_a$  - температура стали (°C);

Изменение температурного удлинения в зависимости от температуры показано на Рисунке 8.1 настоящего пособия;



**Рисунок 8.1 – Тепловое удлинение углеродистой стали как функция температуры**

б) удельная теплоемкость стали  $c_a$  (в Дж/кг·К) может быть определена по формулам:

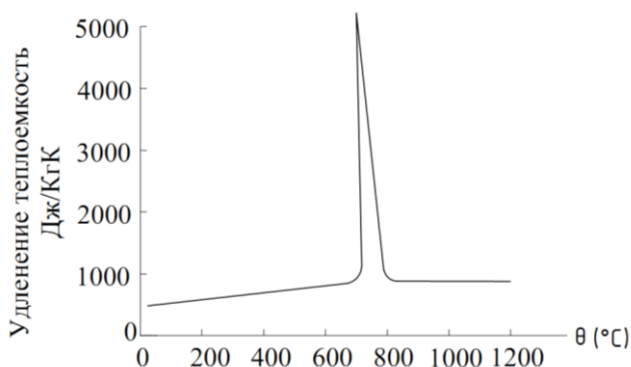
$$c_a = 425 + 7,73 \times 10^{-1} \cdot \theta_a - 1,69 \times 10^{-3} \cdot \theta_a^2 + 2,22 \times 10^{-6} \cdot \theta_a^3, \text{ если } 20^\circ\text{C} \leq \theta_a < 600^\circ\text{C} \quad (8.2a)$$

$$c_a = 666 + 13002/(738 - \theta_a), \text{ если } 600^\circ\text{C} \leq \theta_a < 735^\circ\text{C} \quad (8.2b)$$

$$c_a = 545 + 17820/(\theta_a - 731), \text{ если } 735^\circ\text{C} \leq \theta_a < 900^\circ\text{C} \quad (8.2c)$$

$$c_a = 650, \text{ если } 900^\circ\text{C} \leq \theta_a < 1200^\circ\text{C} \quad (8.2d)$$

Изменение удельной теплоемкости в зависимости от температуры показано на Рисунке 8.2 настоящего пособия;



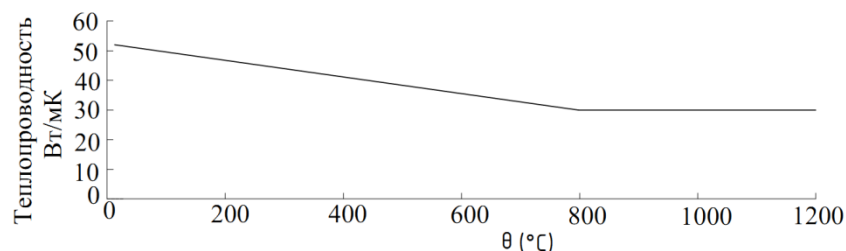
**Рисунок 8.2 – Удельная теплоемкость углеродистой стали как функция температуры**

в) теплопроводность стали  $\lambda_a$  (Вт/мК) может быть определена:

$$\lambda_a = 54 - 3,33 \times 10^{-2} \cdot \theta_a; \text{ если } 20^\circ\text{C} \leq \theta_a < 800^\circ\text{C} \quad (8.3a)$$

$$\lambda_a = 27,3; \text{ если } 800^\circ\text{C} \leq \theta_a < 1200^\circ\text{C} \quad (8.3b)$$

Изменение теплопроводности в зависимости от температуры показано на Рисунке 8.3 настоящего пособия



**Рисунок 8.3 – Теплопроводность углеродистой стали как функция температуры**

### 8.2.2.3 Механические свойства

Диаграмма напряжение – удлинение углеродистой стали при высоких температурах не показывает явной площадки текучести, с деформационным упрочнением во всем диапазоне пластичности. Чтобы представить поведение балок и колонн в стандартных испытаниях на огнестойкость, показатели нагрева были установлены в диапазоне от 5-20°C/мин.

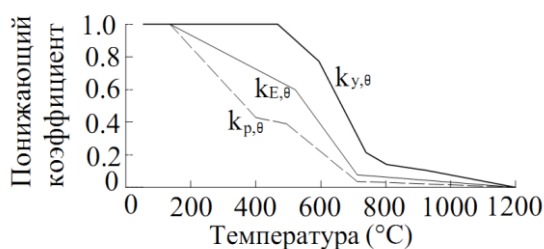
Результаты испытаний показывают, что углеродистая сталь начинает терять прочность при температурах свыше 300°C и снижает прочность устойчиво до уровня 800°C. Четкая площадка текучести на 20°C заменяется постепенным увеличением прочности с возрастанием напряжения (или механического упрочнения) при высоких температурах. СН РК EN 1993-1-2 приводит понижающие коэффициенты для расчетного предела текучести, предела упругости и линейно-упругого диапазона, указанные в Таблице 8.1 настоящего пособия. Расчетный предел текучести связан с 2%-ым пределом напряжения. Рисунок 8.4 настоящего пособия иллюстрирует изменение понижающих коэффициентов в зависимости от температуры.

**Таблица 8.1 – Понижающие коэффициенты для зависимости напряжение – удлинение стали при повышенных температурах**

Температура стали $\theta_a$ (°C)	Понижающий коэффициент для расчетного предела текучести $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Понижающий коэффициент для предела упругости $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Понижающий коэффициент для модуля упругости $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20	1,000	1,000	1,000
100	1,000	1,000	1,000
200	1,000	0,807	0,900
300	1,000	0,613	0,800
400	1,000	0,420	0,700
500	0,780	0,360	0,600
600	0,470	0,180	0,310
700	0,230	0,075	0,130

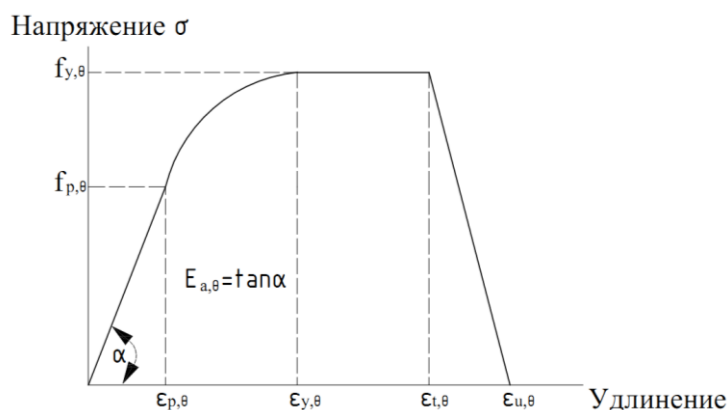
**Таблица 8.1 – Понижающие коэффициенты для зависимости напряжение – удлинение стали при повышенных температурах (продолжение)**

800	0,110	0,050	0,090
900	0,060	0,0375	0,0675
1000	0,040	0,0250	0,0450
1100	0,020	0,0125	0,0225
1200	0,000	0,0000	0,0000



**Рисунок 8.4 – Понижающие коэффициенты для зависимости напряжение – удлинение углеродистой стали при повышенных температурах**

Определения расчетного предела текучести, предела упругости и линейно-упругого диапазона установлены на основе модели напряжение – удлинение для стали при высоких температурах, данного в СН РК EN 1993-1-2. Рисунок 8.5 показывает, что первая часть кривой – прямая линия, идущая до предела упругости  $f_{p,θ}$ , и модуль упругости,  $E_{a,θ}$  равен углу наклона этого прямолинейного сегмента. Вторая часть кривой представляет переход от упругой до пластичной стадии. Эта область определена эллиптической аппроксимацией до расчетного предела текучести  $f_{y,θ}$ . Третья часть кривой – плоская площадка текучести до предельной деформации. Последняя часть кривой – прямая линия, нисходящая к нулевому напряжению в предельной деформации.



**Рисунок 8.5 – Зависимость напряжение – удлинение для углеродистой стали при повышенных температурах**

Сравнивая понижающие коэффициенты при повышенных температурах (см. Таблицу 8.1) настоящего пособия, можно заметить, что жесткость стали уменьшается быстрее прочности. Это указывает, что вид отказа стальных элементов может измениться при повышенных температурах. Например, стальная балка, состоящая из тонкого двутаврового профиля, который спроектирован для отказа в стадии образования пластического шарнира под критической нагрузкой при нормальной температуре, может отказать из-за преждевременной потери устойчивости стенки при повышенных температурах.

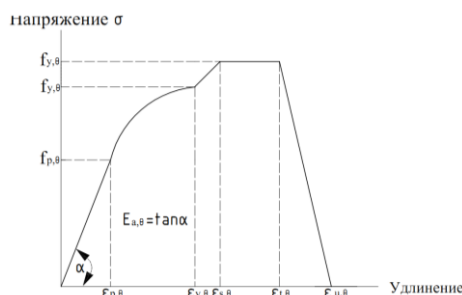
Строительные нормы СН РК EN 1993-1-2 представляет детализированные математические аппроксимации для зависимости напряжение – удлинение стали при повышенных температурах, как показано в Таблице 8.2 настоящего пособия. Эффект ползучести неявно рассматривается на основе моделей материалов, применимых при нагревании между 2 и 50 К/мин.

**Таблица 8.2 - Математические формулировки зависимости напряжение – удлинение для углеродистой стали при повышенных температурах**

Разброс деформаций	Напряжения $\sigma_a(\theta_a)$	Касательный модуль
$\varepsilon \leq \varepsilon_{p,\theta}$	$\varepsilon \cdot E_{a,\theta}$	$E_{a,\theta}$
$\varepsilon_{p,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{y,\theta}$	$f_{p,\theta} - c + \frac{b}{a} \cdot \sqrt{a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2}$	$\frac{b \cdot (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)}{a \cdot \sqrt{a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2}}$
$\varepsilon_{y,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{t,\theta}$	$f_{y,\theta}$	0
$\varepsilon_{t,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{u,\theta}$	$f_{y,\theta} \cdot [1 - (\varepsilon - \varepsilon_{t,\theta}) / (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{t,\theta})]$	—
$\varepsilon = \varepsilon_{u,\theta}$	0,00	—

**Таблица 8.2 - Математические формулировки зависимости напряжение – удлинение для углеродистой стали при повышенных температурах (продолжение)**

<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1 Параметр <math>\varepsilon_{p,\theta}</math> определяется по формуле:</p> $\varepsilon_{p,\theta} = f_{p,\theta} / E_{a,\theta} \cdot \varepsilon_{y,\theta} = 0,02 \cdot \varepsilon_{t,\theta} = 0,15 \cdot \varepsilon_{u,\theta} = 0,20.$ <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2 Функции a, b и c определяются по формулам:</p> $a^2 = (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) \cdot (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta} + c / E_{a,\theta})$ $b^2 = c \cdot (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) \cdot E_{a,\theta} + c^2$ $c = (f_{y,\theta} - f_{p,\theta})^2 / [(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) \cdot E_{a,\theta} - 2 \cdot (f_{y,\theta} - f_{p,\theta})]$ <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3 Символы используемые в Таблице 8.2:</p> <p><math>f_{y,\theta}</math> - расчетный предел текучести при повышенных температурах;</p> <p><math>f_{p,\theta}</math> - предел упругости при повышенных температурах;</p> <p><math>E_{a,\theta}</math> - модуль упругости при повышенных температурах;</p> <p><math>E</math> - модуль упругости при комнатной температуре;</p> <p><math>\varepsilon_{p,\theta}</math> - деформация на пределе упругости при повышенных температурах;</p> <p><math>\varepsilon_{y,\theta}</math> - деформация на пределе текучести при повышенных температурах;</p> <p><math>\varepsilon_{t,\theta}</math> - предельная деформация на пределе текучести при повышенных температурах;</p> <p><math>\varepsilon_{u,\theta}</math> - предельная деформация при повышенных температурах.</p>
---



**Рисунок 8.6 – Зависимость напряжение – удлинение для углеродистой стали при высоких температурах, учитывающее механическое упрочнение**

СН РК EN 1993-1-2 далее, расширяет зависимость напряжение – удлинение, чтобы включать механическое упрочнение для температур стали ниже 400°C, если местная или глобальная устойчивость не приводят к преждевременному отказу (см. Рисунок 8.6 настоящего пособия). В этом случае математические формулы, приведенные в Таблице 8.2 настоящего пособия должны быть изменены следующим образом:

- если  $0,02 < \varepsilon < 0,04$ :

$$\sigma_a = 50 \cdot (f_{u,\theta} - f_{y,\theta}) \cdot \varepsilon + 2 \cdot f_{y,\theta} - f_{u,\theta};$$

- если  $0,04 \leq \varepsilon \leq 0,15$ :

$$\sigma_a = f_{u,\theta};$$

- если  $0,15 < \varepsilon < 0,20$ :

$$\sigma_a = f_{u,\theta} \cdot [1 - 20 \cdot (\varepsilon - 0,15)];$$

-если  $\varepsilon \geq 0,20$ :

$$\sigma_a = 0,0;$$

где  $f_{u,\theta}$  – предел прочности при повышенных температурах с учетом механического упрочнения. Предел прочности  $f_{u,\theta}$  при повышенных температурах с учетом механического упрочнения определяется следующим образом:

если  $\theta_a < 300^\circ\text{C}$ :

$$f_{u,\theta} = 1,25 \cdot f_{y,\theta};$$

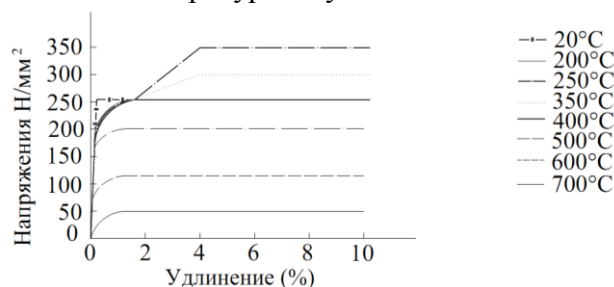
если  $300^\circ\text{C} \leq \theta_a < 400^\circ\text{C}$ :

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta} \cdot (2 - 0,0025 \cdot \theta_a);$$

если  $\theta_a \geq 400^\circ\text{C}$ :

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta}.$$

Рисунок 8.7 настоящего пособия показывает зависимость напряжение – удлинение для стали S275 при повышенных температурах с учетом механического упрочнения.



**Рисунок 8.7 – Зависимости напряжение – удлинение для стали S275 при повышенных температурах, учитывающие механическое упрочнение**

### 8.2.3 Нержавеющая сталь

#### 8.2.3.1 Общие положения

Нержавеющая сталь покрывает широкий диапазон коррозионностойких и жароупорных железосодержащих материалов, которые содержат, по крайней мере, 10% хрома, максимум углерода – 1,2% и другие легирующие элементы. Есть пять основных групп нержавеющей стали, классифицированной согласно их металлургическому составу, а именно, аустенитная, ферритная, мартенситная, дуплексная и дисперсно-твердеющая группы. Аустенитная и дуплексная нержавеющие стали наиболее широко используются при проектировании зданий и сооружений, главным образом из-за их хорошей свариваемости.

В Приложение С СН РК EN 1993-1-2 даны свойства материалов, при повышенных температурах, для марок нержавеющих сталей 1.4301, 1.4401, 1.4571, 1.4003 и 1.4462. Для других марок нержавеющей стали стандарт предполагает, что их механические свойства могут быть взяты как у горячекатаной углеродистой стали, но термические параметры, как предполагается, остаются такими, как и для нержавеющей стали.

#### 8.2.3.2 Термические свойства

Термические свойства нержавеющей стали сильно отличаются от свойств углеродистой стали. Основные отличия следующие:

- уровень теплового расширения нержавеющей стали остается относительно постоянным до 1200 °С по сравнению с углеродистой сталью, так как нержавеющая сталь не испытывает фазового перехода.
- значение величины теплового расширения нержавеющей стали больше чем у углеродистой стали.
- удельная теплоемкость нержавеющей стали мало возрастает при повышенных температурах по сравнению с углеродистой сталью, у которой существует резкое возрастание удельной теплоемкости при температуре 730°С из-за химического преобразования феррита-перлита в аустенит;
- при нормальной температуре, у нержавеющей стали намного более низкая теплопроводность, чем у углеродистой стали. Однако, теплопроводность нержавеющей стали увеличивается при увеличении температуры и превышает значение для углеродистой стали при температуре свыше 1000°С;

Тепловое удлинение аустенитной нержавеющей стали  $\Delta l/l$  может быть определено по формуле:

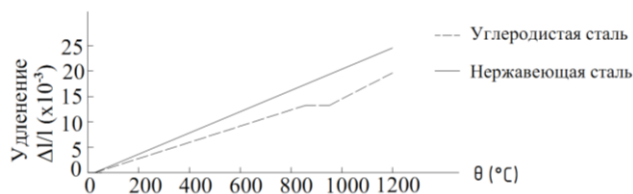
$$\Delta l/l = (16 + 4,76 \times 10^{-3} \cdot \theta_a - 1,243 \times 10^{-6} \cdot \theta_a^2) \cdot (\theta_a - 20) \cdot 10^{-6} \quad (8.4)$$

где  $l$  - длина элемента из нержавеющей стали при нормальной температуре;

$\Delta l$  - температурное удлинение элемента из нержавеющей стали;

$\theta_a$  - температура стали (°С).

Изменение теплового удлинения в зависимости от температуры показано на Рисунке 8.8 настоящего пособия.

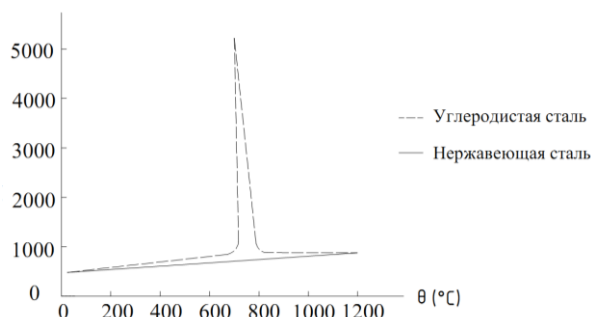


**Рисунок 8.8 – Тепловое удлинение нержавеющей стали как функция температуры**

Удельная теплоемкость нержавеющей стали  $c_a$  (Дж/кгК) может быть определена формулой:

$$c_a = 450 + 0,28 \cdot \theta_a - 2,91 \times 10^{-4} \cdot \theta_a^2 + 1,34 \times 10^{-7} \cdot \theta_a^3 \quad (8.5)$$

Изменение удельной теплоемкости в зависимости от температуры дано на Рисунке 8.9 настоящего пособия.

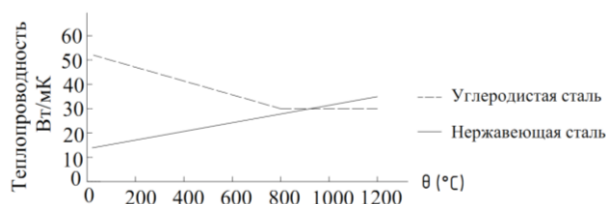


**Рисунок 8.9 – Удельная теплоемкость нержавеющей стали как функция температуры**

Теплопроводность нержавеющей стали  $\lambda_a$  (Вт/мК) может быть определена:

$$\lambda_a = 14,6 + 1,27 \times 10^{-2} \cdot \theta_a \quad (8.6)$$

Изменение теплопроводности в зависимости от температуры показано на Рисунке 8.10 настоящего пособия.



**Рисунок 8.10 – Теплопроводность нержавеющей стали как функция температуры**

### 8.2.3.3 Механические свойства

Зависимость напряжение – удлинение для нержавеющей стали при повышенных температурах, дана в СН РК EN 1993-1-2, и применима для скорости нагрева между 2 и 50 К/мин. Подробные математические формулы приведены в Таблице 8.3 и на Рисунке 8.11 настоящего пособия.



**Таблица 8.3 - Зависимость напряжение – удлинение для нержавеющей стали при повышенных температурах**

Пределы деформаций	Напряжение $\sigma$	Касательный модуль $E_t$
$\varepsilon \leq \varepsilon_{c,\theta}$	$\frac{E\varepsilon}{1 + a \cdot \varepsilon^b}$	$\frac{E \cdot (1 + a \cdot \varepsilon^b - a \cdot b \cdot \varepsilon^b)}{(1 + a \cdot \varepsilon^b)^2}$
$\varepsilon_{c,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{u,\theta}$	$f_{0.2p,\theta} - e + \frac{d}{c} \sqrt{c^2 - (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon)^2}$	$\frac{d + (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon)}{c \cdot \sqrt{c^2 - (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon)^2}}$

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Параметр  $\varepsilon_{c,\theta}$  определяется по формуле:

$$\varepsilon_{c,\theta} = f_{0.2p,\theta}/E_{a,\theta} + 0,02.$$

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Функции a, b, c, d и e определяются по следующим формулам:

$$a = \frac{E_{a,\theta} \cdot \varepsilon_{c,\theta} - f_{0.2p,\theta}}{f_{0.2p,\theta} \cdot \varepsilon_{c,\theta}^b};$$

$$b = \frac{(1 - \varepsilon_{c,\theta} \cdot E_{ct,\theta}/f_{0.2p,\theta}) \cdot E_{a,\theta} \cdot \varepsilon_{c,\theta}}{(E_{a,\theta} \cdot \varepsilon_{c,\theta}/f_{0.2p,\theta} - 1) \cdot f_{0.2p,\theta}};$$

$$c^2 = (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta}) \cdot \left( \varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta} + \frac{e}{E_{ct,\theta}} \right);$$

$$d^2 = e \cdot (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta}) \cdot E_{ct,\theta} + e^2;$$

$$e = \frac{(f_{u,\theta} - f_{0.2p,\theta})^2}{(\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta}) \cdot E_{ct,\theta} - 2 \cdot (f_{u,\theta} - f_{0.2p,\theta})}.$$

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Символы используемые в Таблице 8.3:

$f_{u,\theta}$  - предел прочности;

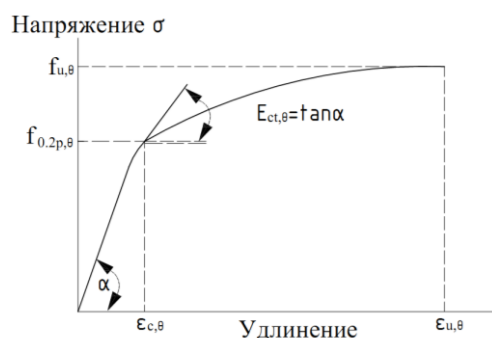
$f_{0.2p,\theta}$  - условный предел прочности 0,2 % пластической деформации;

$E_{a,\theta}$  - модуль упругости;

$E_{ct,\theta}$  - уклон условного предела текучести;

$\varepsilon_{c,\theta}$  - полная деформация, соответствующая условному пределу текучести; предельная

$\varepsilon_{u,\theta}$  - деформация.



**Рисунок 8.11 - Зависимость напряжение – удлинение для нержавеющей стали при повышенных температурах**

Приложение С СН РК EN 1993-1-2 предоставляет понижающие коэффициенты относительно соответствующего значения в 20°C, для зависимости напряжение – удлинение нескольких марок нержавеющей стали при повышенных температурах следующим образом:

- модуль упругости, относительно модуля упругости при 20°C:  $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$ ;
- условный предел прочности, относительно предела текучести при 20°C:  $k_{p0.2,\theta} = f_{0.2p,\theta}/f_y$ ;
- предел прочности, относительно предела прочности при 20°C:  $k_{u,\theta} = f_{u,\theta}/f_u$

Кроме того, в СН РК EN 1993-1-2 дается поправочный коэффициент для предела текучести  $k_{2\%,\theta}$  для использования в простых методах вычисления. Предполагается, что «эффективный» предел текучести, который будет использоваться в простых методах вычисления, должен быть между значениями условного предела прочности  $f_{0.2p,\theta}$  и предела прочности на растяжение  $f_u$  как дано:

$$f_{y,\theta} = f_{0.2p,\theta} + k_{2\%,\theta} \cdot (f_{u,\theta} - f_{0.2p,\theta}) \quad (8.7)$$

где значения  $k_{2\%,\theta}$  для различных марок нержавеющей стали, в пределах от 0,19 до 0,47 даны в Приложении С СН РК EN 1993-1-2.

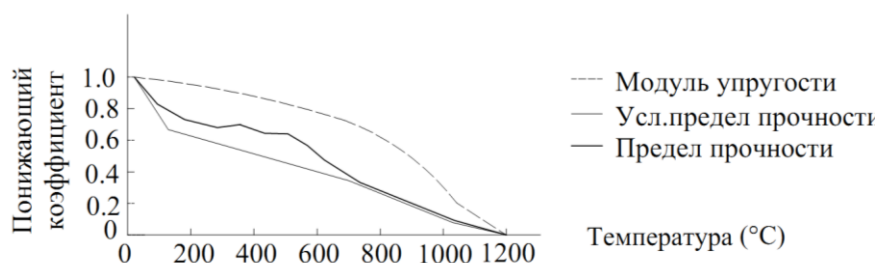
Таблица 8.4 и Рисунок 8.12 настоящего пособия вышеупомянутых понижающих коэффициентов для марки 1.4301 нержавеющей стали. Приложение С СН РК EN 1993-1-2 обеспечивает значения для других марок нержавеющей стали.

**Таблица 8.4 – Параметры зависимости напряжение – удлинение марки нержавеющей стали 1.4301 при повышенных температурах**

Значение $\theta_a$ (°C)	Отношение $E_{a,\theta}/E_a$	Отношение $f_{p0.2,\theta}/f_y$	Отношение $f_{u,\theta}/f_u$	Значение $k_{2\%,\theta}$
20	1,00	1,00	1,00	0,26
100	0,96	0,82	0,87	0,24
200	0,92	0,68	0,77	0,19
300	0,88	0,64	0,73	0,19
400	0,84	0,60	0,72	0,19
500	0,80	0,54	0,67	0,19
600	0,76	0,49	0,58	0,22
700	0,71	0,40	0,43	0,26
800	0,63	0,27	0,27	0,35

**Таблица 8.4 – Параметры зависимости напряжение – удлинение марки нержавеющей стали 1.4301 при повышенных температурах (продолжение)**

Значение $\theta_a$ (°C)	Отношение $E_{a,\theta}/E_a$	Отношение $f_{p0.2,\theta}/f_y$	Отношение $f_{u,\theta}/f_u$	Значение $k_{2\%,\theta}$
900	0,45	0,14	0,15	0,38
1000	0,20	0,06	0,07	0,40
1100	0,10	0,03	0,03	0,40
1200	0,00	0,00	0,00	0,40



**Рисунок 8.12 – Понижающие коэффициенты для зависимости «напряжение – удлинение» марки нержавеющей стали 1.4301 при повышенных температурах**

## 8.2.4 Тонкостенная сталь

### 8.2.4.1 Общие положения

Тонкостенные стальные профили производятся в большом разнообразии сечений и фасонных листов. Традиционно, в строительстве, обычно используемые сечения – холодноформованные ‘С’ или ‘Z’ формы, используемые в качестве обрешеток крыши и направляющих для крепления облицовки в промышленных зданиях. Позже, тонкостенные сечения широко использовались в качестве стальных рам, ферм, перегородок, перемычек, ригелей пола и стеллажей хранения.

Главное преимущество тонкостенных сечений – высокое отношение прочности к весу при нормальной температуре. Для холодноформованных сечений механическое упрочнение, вызванное процессом холодной обработки металла, увеличивает предел текучести и предел прочности материалов. Однако эти особенности делают их более уязвимыми при воздействии пожара. У тонкостенных сечений небольшая огнестойкость, потому что они нагреваются быстро, если непосредственно находятся под воздействием пожара из-за высоких коэффициентов сечения. Увеличение механической прочности из-за механического упрочнения будет также быстро потеряно во время нагрева.

#### 8.2.4.2 Термические свойства

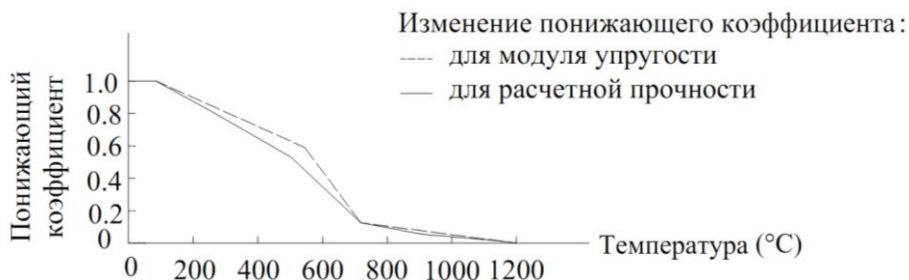
Термические свойства тонкостенной стали, как предполагается, подобны термическим свойствам исходной горячекатаной стали.

#### 8.2.4.3 Механические свойства

Приложение Е СН РК EN 1993-1-2 приводит понижающие коэффициенты для расчетной прочности и модуля упругости сечений 4 Класа, сделанных из углеродистой стали при повышенных температурах, как указано в Таблице 8.5 и на Рисунке 8.13 настоящего пособия, которые могут использоваться для тонкостенных сечений.

**Таблица 8.5 – Понижающие коэффициенты для углеродистой стали для сечений 4 класса при повышенных температурах**

Температура стали $\theta_a(^{\circ}\text{C})$	Понижающий коэффициент для расчетной прочности $k_{p0.2,\theta}$	Понижающий коэффициент для модуля упругости $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20	1,00	1,00
100	1,00	1,00
200	0,89	0,90
300	0,78	0,80
400	0,65	0,70
500	0,53	0,60
600	0,30	0,31
700	0,13	0,13
800	0,07	0,09
900	0,05	0,07
1000	0,03	0,05
1100	0,02	0,02
1200	0,00	0,00



**Рисунок 8.13 – Коэффициенты снижения прочности для холодноформованной стали при повышенных температурах**

Для упрощения СН РК EN 1993-1-2 консервативно принимает условный предел прочности 0,2 % как расчетный предел текучести для расчета стальных профилей 4 класса при повышенных температурах. Для горячекатаных и сваренных тонкостенных сечений понижающий коэффициент расчетной прочности  $k_{p0.2,\theta}$  взят относительно предела текучести  $f_y$  при 20°C следующим образом:

$$k_{p0.2,\theta} = f_{p0.2,\theta} / f_y;$$

где  $f_{p0.2,\theta}$  – условный предел прочности 0,2% при температуре стали  $\theta$ , принятый как эффективное значение текучести.

Для холодноформованных тонкостенных сечений понижающий коэффициент для расчетной прочности  $k_{p0.2,\theta}$  принят относительно основного предела текучести  $f_{yb}$  при 20°C следующим образом:

$$k_{p0.2,\theta} = \frac{f_{p0.2,\theta}}{f_{yb}};$$

где  $f_{yb}$  – основной предел текучести данный в СН РК EN 1993-1-3.

Понижающий коэффициент для модуля упругости, как предполагается, идентичен таковому для углеродистой стали.

### 8.3 Болты и сварные швы

Приложение D СН РК EN 1993-1-2 предоставляет ограниченную информацию о поведении при пожаре болтов и сварных швов, включая механические свойства с переменной температурой относительно соседней балки. Для болтовых соединений, строительные нормативы СН РК EN 1993-1-2 указывают, что нет необходимости рассматривать отказ сечения нетто в отверстиях крепежа, при условии, что есть крепеж в каждом отверстии, так как предполагается, что температура стали обычно ниже в соединениях в виду присутствия дополнительного материала.

Основанный на ограниченном числе испытаний Стандарт назначает одинаковый понижающий коэффициент  $k_{b,\theta}$  для болтов, работающих на сдвиг и на растяжение, независимо от типа болта. Для фрикционных болтов, предполагается, что болты сдвигаются при пожаре, и огнестойкость одного болта может быть запроектирована и на сдвиг и на смятие.

Расчетная несущая способность болтов при пожаре должна быть определена следующим образом:

- несущая способность на сдвиг:

$$F_{v,t,Rd} = F_{v,Rd} \cdot k_{b,\theta} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}};$$

- несущая способность на смятие:

$$F_{b,t,Rd} = F_{b,Rd} \cdot k_{b,\theta} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}};$$

- несущая способность на растяжение:

$$F_{ten,t,Rd} = F_{t,Rd} \cdot k_{b,\theta} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}}$$

где  $F_{b,Rd}$  - расчетная несущая способность на смятие согласно СН РК EN 1993-1-8;

$F_{t,Rd}$  - расчетная несущая способность на растяжение согласно СН РК EN 1993-1-8;

$F_{v,Rd}$  - расчетная несущая способность на сдвиг болта согласно СН РК EN1993-1-8;

$k_{b,\theta}$  - понижающий коэффициент для соответствующей температуры болта из Таблицы 8.6 настоящего пособия;

$\gamma_{M2}$  - коэффициент надежности при нормальной температуре;

$\gamma_{M,fi}$  - коэффициент надежности для условий пожара.

Изменение коэффициента снижения прочности показано на Рисунке 8.14 настоящего пособия

Расчетная прочность сварного шва полного провара, для температур до 700°C, должна быть взята как равная прочности связывающих элементов, используя соответствующие понижающие коэффициенты для конструкционной стали. Для температур, более чем 700°C, понижающие коэффициенты, данные для угловых сварных швов, могут быть применимы к сварным стыковым швам.

**Таблица 8.6 – Коэффициенты снижения прочности для болтов и сварных швов**

Температура $\theta(^{\circ}\text{C})$	Болты, работающие на сдвиг и растяжение $k_{b,\theta}$	Угловые сварные швы $k_{w,\theta}$	Стыковые сварные швы $k_{w,\theta}$
20	1,000	1,000	1,000
100	0,968	1,000	1,000
200	0,935	1,000	1,000
300	0,903	1,000	1,000
400	0,775	0,876	1,000
500	0,550	0,627	0,780
600	0,220	0,379	0,470
700	0,100	0,130	0,230
800	0,067	0,074	0,074

**Таблица 8.6 – Коэффициенты снижения прочности для болтов и сварных швов**  
(продолжение)

Температура $\theta(^{\circ}\text{C})$	Болты, работающие на сдвиг и растяжение $k_{b,\theta}$	Угловые сварные швы $k_{w,\theta}$	Стыковые сварные швы $k_{w,\theta}$
900	0,033	0,018	0,018
1000	0,000	0,000	0,000

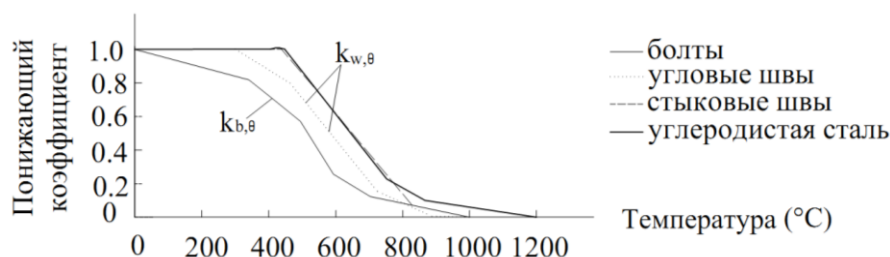
Расчетная несущая способность на единицу длины углового сварного шва при пожаре должна быть определена по формуле:

$$F_{w,t,Rd} = F_{w,Rd} \cdot k_{w,\theta} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M1}}$$

где  $F_{w,Rd}$  - расчетная несущая способность сварного шва на единицу длины согласно СН РК EN 1993-1-8;

$k_{w,\theta}$  - является понижающим коэффициентом для соответствующей температуры сварного шва из Таблицы 8.6 настоящего пособия.

Изменение коэффициента снижения прочности иллюстрировано на Рисунке 8.14 настоящего пособия. Считается, что угловые сварные швы лучше работают при пожаре, чем болты, но имеют более низкое сохранение прочности по сравнению со сварными стыковыми швами или основным металлом.



**Рисунок 8.14 – Коэффициенты снижения прочности для болтов и сварных швов при повышенных температурах**

## 9 РАСЧЕТ РАСТЯНУТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

### 9.1 Общие положения

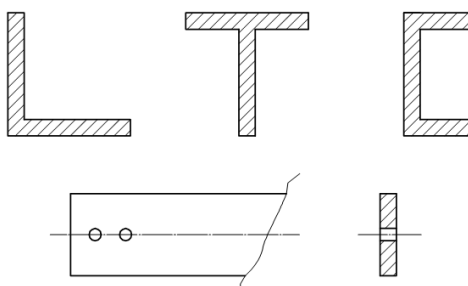
9.1.1 Данный раздел настоящего пособия содержит указания по расчету стальных растянутых элементов. Растянутые элементы могут использоваться во многих строительных конструкциях, некоторые из них указаны ниже:

- простые уголки, тройники, каналы и конструктивные полые профили используются в легких и балочных фермах;
- простые сечения, составные сечения, состоящие из двойных углов или каналов и стержней и полос, используются в качестве элементов связи в зданиях;
- ванты и тросы используются в качестве магистральных кабелей и несущих тросов подвесного моста и настила в подвесных конструкциях и висячих мостах;

- тяжелые катаные профили, тяжелые составные двутавровые и коробчатые сечения, используемые в качестве подвесок в подвесных конструкциях.

Типичные типы сечения и примеры того, где растянутые элементы используются в зданиях и мостах приводятся на Рисунках 9.1 и 9.2 настоящего пособия.

9.1.2 Строительные нормы СН РК EN 1993-1-2 допускает два метода оценки огнестойкости стальных элементов при растяжении. Первое, метод называемый «расчетная несущая способность», состоит из вычисления несущей способности элемента, основанной на распределении температуры по его поперечному сечению, площади поперечного сечения и уменьшенных свойств материала при повышенной температуре. Второе, метод «критической температуры», состоит из вычисления температуры, при которой элемент откажет, принимая равномерное температурное распределение и вычисленный коэффициент использования. Оба метода поясняются в Пунктах 9.2 и 9.3 настоящего пособия.



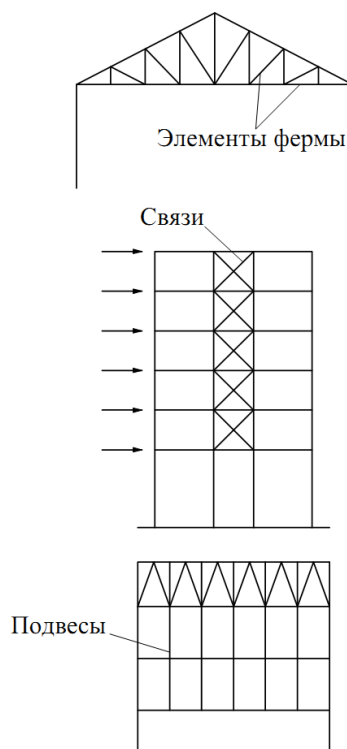
**Рисунок 9.1 – Типичные сечения, используемые в качестве растянутых элементов**

## **9.2 Метод расчетной несущей способности**

### **9.2.1 Общие положения**

Строительные нормы СН РК EN 1993-1-2 предоставляет два подхода для вычисления расчетной несущей способности растянутого элемента при повышенной температуре. Первый подход может использоваться для растянутого элемента с неравномерным температурным распределением по поперечному сечению, в то время как второй для растянутого элемента с равномерным температурным распределением.





**Рисунок 9.2 - Растянутые элементы в зданиях и мостах**

Альтернативно, расчетная несущая способность растянутого элемента с неравномерным температурным распределением по его поперечному сечению может быть консервативно взята равной расчетной несущей способности элемента с равномерным температурным распределением при условии, что она равна максимальной температуре в сечении с неравномерным распределением.

### 9.2.2 Неравномерное температурное распределение

Строительные нормы СН РК EN 1993-1-2 вычисляет расчетную несущую способность,  $N_{fi,t,Rd}$ , во времени,  $t$ , растянутого элемента с неравномерным температурным распределением по его поперечному сечению по формуле:

$$N_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot k_{y,\theta,i} \cdot f_y / \gamma_{M,fi} ; \quad (9.1)$$

где  $A_i$  - единичная площадь поперечного сечения с температурой  $\theta_i$ ;

$k_{y,\theta,i}$  - понижающий коэффициент для предела текучести из стали с температурой  $\theta_i$ ;

$\theta_i$  - температура на единичной площади  $A_i$ ;

$f_y$  - предел текучести при 20°C;

$\gamma_{M,fi}$  - коэффициент надежности для соответствующих свойств материала для ситуации при пожаре.

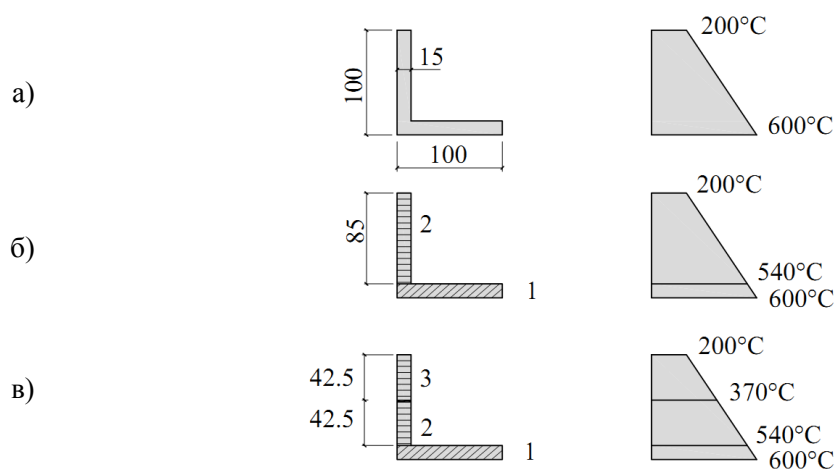
В данном методе поперечное сечение делится на многие дискретные элементы и для каждого определенного элемента существует своя площадь, температура, понижающий коэффициент и предел текучести. Вышеупомянутое уравнение используется для

суммирования несущих способностей каждого из отдельных элементов для получения несущей способности полного поперечного сечения. Любое удобное разделение можно использовать, но для точных результатов сечение должно быть разделено на элементы, у которых есть приблизительно равномерное температурное распределение. Там где температурное распределение меняется по области элемента, должна приниматься самая высокая температура.

### ПРИМЕР 3 Несущая способность на растяжение равнополочного уголка

#### 1) Исходные данные

Необходимо вычислить несущую способность на растяжение растянутого элемента, показанного на Рисунке 9.3 а). Температурное распределение неоднородно по поперечному сечению и изменяется линейно от 600°C у основания уголка до 200°C сверху.



- а) неравномерное распределение температуры;  
 б) максимальная температура в каждой полке;  
 в) разделение вертикальной полки;  
 (все размеры указаны в миллиметрах)

**Рисунок 9.3 – Растянутые элементы под воздействием неравномерного распределения температуры**

Размер сечения и свойства материала:

- размер сечения: 100 × 100 × 15 мм (равнополочный уголок)
- марка стали: S275

#### 2) Процедура вычисления

Уголок может быть удобно подразделен на вертикальную и горизонтальную полки, как показано на Рисунке 9.3 б). Максимальная температура в каждом из этих элементов 600°C и 540°C соответственно.

Несущая способность на растяжение элемента 1 может быть вычисляется по формуле:

$$N_{fi,tRd,1} = A_1 \cdot k_{y,\theta,1} \cdot f_{y1} / \gamma_{M,fi,1}$$

Заменяя значения  $A_1$ ,  $k_{y,\theta,1}$ ,  $f_{y1}$  и  $\gamma_{M,fi,1}$  для элемента номер 1 вычисляем его несущую способность на растяжение:

$$N_{fi,tRd,1} = 100 \times 15 \times 0,470 \times 275 / 1,0 / 1000 = 193,9 \text{ кН}$$

Несущая способность на растяжение элемента номер 2 может быть найдена таким же образом и равна 241 кН. Несущая способность на растяжение элемента может тогда быть определена путём сложения несущих способностей на растяжение каждого из этих двух элементов.

$$N_{fi,t,Rd} = N_{fi,t,Rd,1} + N_{fi,t,Rd,2}$$

Расчетная несущая способность на растяжение для этого элемента:

$$N_{fi,t,Rd} = 193,9 + 241 = 435 \text{ кН}$$

Альтернативно, более точная оценка несущей способности на растяжение элемента может быть определена путём разделения вертикальной полки уголка на два элемента, как показано в Рисунке 9.3 в), таким образом, деление поперечного сечения происходит на три элемента. Максимальная температура 1, 2 и 3 элементов 600°C, 540°C и 370°C соответственно. Путём следования вышеупомянутой методики можно легко подсчитать, что новая несущая способность на растяжение элементов – 490 кН. Это на 12%-ов больше, чем ранее.

### 9.2.3 Равномерное температурное распределение

Строительные нормы СН РК EN 1993-1-2 вычисляет расчетную несущую способность,  $N_{fi,t,Rd}$ , растянутого элемента с равномерной температурой,  $\theta_a$  по его поперечному сечению по формуле:

$$N_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} \cdot N_{Rd} \cdot (\gamma_{M,1}/\gamma_{M,2}) \quad (9.2)$$

где  $k_{y,\theta}$  - понижающий коэффициент для предела текучести стали при температуре,  $\theta_i$ ;

$N_{Rd}$  - расчетная несущая способность поперечного сечения брутто  $N_{pI,Rd}$  для расчета при нормальной температуре согласно СН РК EN 1993-1-1.

Данный метод основан на расчетном методе для растянутых элементов при нормальной температуре, вычисленной по СН РК EN 1993-1-1, но вводит понижающий коэффициент  $k_{y,\theta}$ , чтобы учесть понижение свойств материала при повышенной температуре. Однако есть одно основное отличие между этим подходом и используемым для расчетов при обычной температуре и это касается поведения элемента в площади сечения нетто. В условиях пожара предполагается, что в болтовом отверстии, если отверстие заполнено болтом, сечение вокруг отверстия не будет нагрето до той же самой степени как остальная часть элемента. Это потому, что местное количество тепла увеличивается из-за присутствия болта. Вывод из этого состоит в том, чтобы увеличить несущую способность элемента в площади сечения нетто до такой степени, что свойства площади сечения брутто могли бы использоваться вместо свойств площади сечения нетто.

## 9.3 Метод критической температуры

9.3.1 Критическая температура,  $\theta_{a,cr}$ , для стального растянутого элемента во времени,  $t$ , с равномерным температурным распределением является температурой, при которой несущая способность элемента уменьшается до величины приложенной нагрузки. В СН РК EN 1993 критическая температура может быть определена для любого коэффициента использования из следующего выражения:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \cdot \ln \left[ \frac{1}{0,9674 \cdot \mu_o^{3,833}} - 1 \right] + 482 \quad (9.3)$$

где  $\mu_o$  - коэффициент использования в элементе и вычисляется по формуле:

$$\mu_o = E_{fi,d}/R_{fi,d,0} \quad (9.4)$$

где  $R_{fi,d,0}$  - значение  $R_{fi,d,t}$  для времени  $t = 0$  (то есть при нормальной температуре);

$R_{fi,d,t}$  - вычисляется по указаниям Раздела 7 настоящего пособия;

$E_{fi,d}$  - вычисляется по указаниям Раздела 7 настоящего пособия.

9.3.2 Коэффициент использования может быть определен как отношение величины приложенной нагрузки в предельном состоянии при пожаре ( $E_{fi,d}$ ) к несущей способности элемента при комнатной температуре ( $R_{fi,d,0}$ ). Для растянутых элементов несущая способность при  $t = 0$  может быть взята как его несущая способность при комнатной температуре. Несущая способность растянутого элемента при нормальной температуре может быть определена соответствующим выражением, данным в СН РК EN 1993-1-1.

**Таблица 9.1 – Вычисление по методу критической температуры  
в СН РК EN 1993**

Метод	Критические / Предельные температуры при использовании (отношение нагрузки):					
	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
СН РК EN 1993	526	554	585	620	664	725

9.3.3 Альтернативно, для растянутых элементов  $\mu_o$  может быть консервативно получен из формулы:

$$\mu_o = \eta_{fi} \cdot (\gamma_{M,fi}/\gamma_{M,1}) \quad (9.5)$$

где  $\eta_{fi}$  - понижающий коэффициент вычисляется по указаниям Раздела 7 настоящего пособия;

9.3.4 Данный метод предполагает, что элемент был спроектирован на полную прочность при нормальных условиях, и поэтому коэффициент использования может быть вычислен как отношение приложенной нагрузки в предельном состоянии при пожаре к критической расчетной нагрузке при нормальных условиях. Если конструкция подвергается комбинации постоянной нагрузки ( $G$ ) и временной нагрузки ( $Q$ ), коэффициент использования может быть выражен в следующей форме:

$$\mu_o = \frac{G + \psi \cdot Q}{1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q} \left( \frac{\gamma_{M,fi}}{\gamma_{M,1}} \right); \quad (9.6)$$

где  $\psi$  – коэффициент сочетания для временной нагрузки при условии пожара и коэффициенты 1,35 и 1,5 есть коэффициенты надежности для постоянной нагрузки и временной нагрузки.

#### ПРИМЕР 4 Вычисление критической температуры

##### 1) Исходные данные

В данном примере вычисляют критическую температуру для простого уголка из Примера 3 настоящего пособия, принимая, что к элементу приложена нагрузка в 500 кН.

## 2) Решение

Несущая способность на растяжение во время  $t = 0$  является  $R_{fi,d,0} = 2800 \times 275/1000 = 770$  кН. Поэтому коэффициент использования  $\mu_0 = 500/770 = 0,649$ . Из уравнения (9.3) критическая температура элемента  $540^\circ\text{C}$ .

# 10 РАСЧЕТ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

## 10.1 Общие положения

Данный раздел настоящего пособия содержит указания по расчету элементов, главным образом работающих на сжатие (далее колонны).

В различных частях СН РК ЕН цель расчётов состоит в том, чтобы гарантировать, что у элемента конструкции есть достаточная несущая способность при повышенных температурах для сопротивления приложенной нагрузки к элементу конструкции в предельном состоянии при пожаре; это расчетная философия, которая идентична расчетам при нормальной температуре. Поэтому, первым делом должны быть получены температуры в элементе конструкции. Для стальных колонн относительно просто вычислить температуру стали, используя формулы в 6 разделе настоящего пособия, если есть соответствующие значения термических параметров огнезащитных материалов.

Руководство предполагает, что температурное распределение в элементе конструкции известно как входной параметр.

Различные части СН РК ЕН содержат много методов для оценки несущей способности различных типов сжатых элементов. Для стальных элементов СН РК ЕН 1993-1-2 включает упрощенный метод вычисления и метод критической температуры.

Сведенный в таблицу метод содержит много расчетных таблиц для непосредственной связи различных параметров расчета колонны с доступной стандартной оценкой огнестойкости колонны. Данные таблицы, в общем, основаны на стандартных испытаниях огнестойкости или результатах численных вычислений и должны использоваться везде, где возможно из-за их простоты. В данном пособии эти таблицы не приводятся.

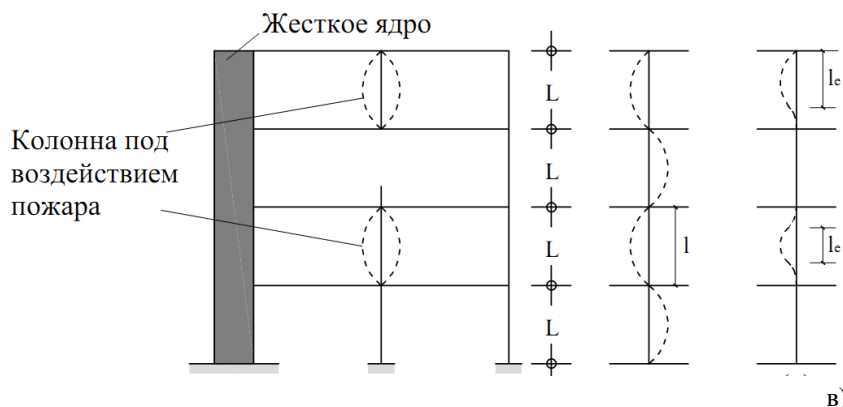
Общий метод основан на общих принципах проектирования зданий и сооружений и неизбежно вовлечет использование методик численного расчета. Эта задача находится вне области данного пособия. Поэтому пособие, главным образом, рассматривает выполнение различных простых методов вычисления.

## 10.2 Расчетная длина колонн при пожаре

Расчетная длина колонны – основной параметр при вычислении ее несущей способности при сжатии. Расчетная длина колонны для расчета по предельным состояниям при пожаре может отличаться от таковой при нормальной температуре.

Данный процесс происходит, когда колонна подвергается воздействию пожара, но

находится в пределах несгораемой секции. Изгибная жесткость колонны уменьшается при повышенных температурах, но для остальной части здания изгибная жесткость остается неизменной. В принципе, колонна получает увеличенное защемление. Различные СН РК EN признают этот факт и рекомендуют использовать уменьшенные расчетные длины колонны при пожаре по сравнению с таковыми при нормальной температуре. Кроме того в СН РК EN предполагается, что относительная жесткость смежной «холодной» конструкции к нагретой колонне стремиться к бесконечности так, что можно полагать, что нагретая колонна имеет заделку на концах. Рисунок 10.1 настоящего пособия иллюстрирует рекомендации СН РК EN. Для применения рекомендации по расчету в СН РК EN, как показано на Рисунке 10.1, нужно указать, что только примыкающие холодные колонны с соседних пожарных секций с неохваченных огнем этажей, предоставят нагретой колонне гарантированную повышенную заделку. Это происходит, потому что смежные горизонтальные элементы будут подвергнуты тому же самому влиянию пожара, как и нагретая колонна и, возможно, не предоставляют горячей колонне гарантированную повышенную заделку.



а)

б)

в)

а) разрез здания;

б) деформированный вид при комнатной температуре;

в) деформированный вид при повышенной температуре;

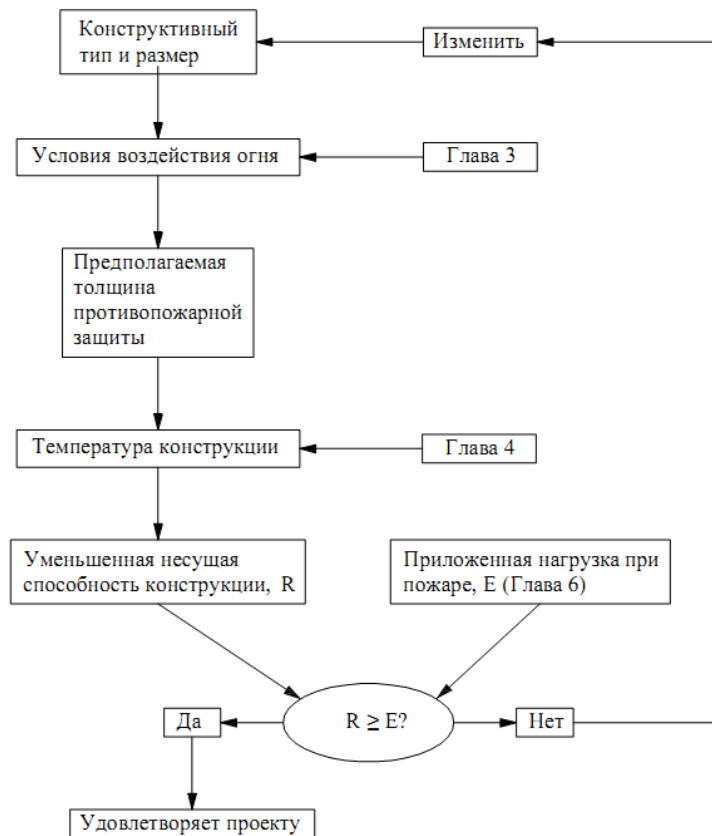
**Рисунок 10.1 – Расчетная длина колонны в связном каркасе при пожаре**

### 10.3 Нагруженные в осевом направлении стальные колонны

#### 10.3.1 Общие положения

Поскольку необходимо рассмотреть устойчивость при расчете колонны, нельзя воспользоваться методом критической температуры из Пункта 4.2.4 СН РК EN 1993-1-2. Упрощенный метод вычисления для стальных колонн должен выполняться с помощью Пунктов 4.2.3.2 и 4.2.3.6 СН РК EN 1993-1-2. В этом методе температура колонны – отправная точка расчетных вычислений. При расчетной температуре колонны уменьшенная прочность колонны вычисляется и сравнивается с приложенной нагрузкой к колонне при пожаре. Колонна, как полагают, безопасна, если остаточная прочность

колонны превышает приложенную нагрузку к колонне при пожаре. В упрощенном методе вычисления приложенная нагрузка к колонне, как предполагается, остается постоянной во время воздействия пожара. Если цель расчета состоит в том, чтобы найти необходимую толщину противопожарной защиты колонны, будет необходима повторяющаяся процедура. Рисунок 10.2 иллюстрирует этот повторяющийся процесс.



**Рисунок 10.2 – Схема процесса проектирования по СН РК EN 1993-1-2**

Расчетный метод в СН РК EN 1993-1-2 подобен таковому из СН РК EN 1993-1-1 для стальных колонн при нормальной температуре. Однако есть много различий. Кроме различия в расчетной длине колонны как описано в Пункте 10.2 этой главы, другие различия касаются классификации поперечного сечения колонны для местной устойчивости и кривых глобальной потери устойчивости. Для классификации поперечного сечения колонны по местной потере устойчивости и для строительного противопожарного проектирования, используется уменьшенное значение  $\varepsilon$ , вычисляемое по формуле:

$$\varepsilon = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (10.1)$$

Коэффициент 0,85 является приблизительным значением для  $\sqrt{k_{E,\theta}/k_{y,\theta}}$ , где  $k_{E,\theta}$  и  $k_{y,\theta}$  являются понижающими коэффициентами для модуля упругости и расчетного предела текучести стали при температуре  $\theta$ , см. Таблицу 8.1.

Используя пределы отношения ширины к толщине листа из СН РК EN 1993-1-1 для полок и стенки катаных профилей при сжатии, легко проверить, что все поперечные сечения двукрововых профилей – 3 класс или лучше, если марка стали S275. Если марка стали S355, только некоторые сечения являются поперечными сечениями 4 класса.

### 10.3.2 Равномерно нагреваемая колонна с поперечным сечением 1, 2 или 3 класса

Для колонн с поперечным сечением класса 1, 2 или 3 нет никакой необходимости учитывать местную устойчивость при расчете и несущую способность колонны на сжатие  $N_{b,fi,t,Rd}$  вычисляют по формуле:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}; \quad (10.2)$$

где  $A$  – поперечное сечение брутто колонны и  $\gamma_{M,fi}$  – коэффициент надежности по материалу для стали в предельном состоянии при пожаре.  $\chi_{fi}$  – коэффициент снижения прочности колонны, который является функцией гибкости колонны  $\bar{\lambda}_{fi}$  и определяется по формуле:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_{\theta} + \sqrt{\varphi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}}; \text{ при } \varphi_{\theta} = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2] \text{ и } \alpha = 0,65 \cdot \sqrt{235/f_y} \quad (10.3)$$

При вычислении гибкости колонны  $\bar{\lambda}_{\theta}$ , в дополнение к учету уменьшенной расчетной длины колонны, как описано в Пункте 10.2 настоящего пособия, также необходимо учесть эффект различных изменений в расчетном пределе текучести и модуле упругости стали при повышенных температурах. СН РК EN 1993-1-2 позволяет вычислить гибкость колонны  $\bar{\lambda}_{\theta}$  как:

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}}; \quad (10.4)$$

где  $\bar{\lambda}$  – гибкость колонны при нормальной температуре, но вычисленная с использованием уменьшенной расчетной длины колонны при пожаре как описано в Пункте 10.2 настоящего пособия.

Если цель вычислений состоит в том, чтобы найти предельную температуру колонны, и температура колонны неизвестна, то второе условие правой части (10.4) не может быть вычислено. Однако в пределах практического диапазона температура стали (300-800°C), и второй множитель правой части (10.4) приближенно равен 1,2. Поэтому, гибкость колонны при пожаре может приблизительно вычисляться по формуле:

$$\bar{\lambda}_{\theta} = 1,2 \cdot \bar{\lambda} \quad (10.5)$$

**ПРИМЕР 5** Вычисление предельной температуры стальной колонны

1) Исходные данные

Размер сечения колонны: 305 × 305 × 118УК.

Высота: 4,2 м между двумя несгораемыми этажами с непрерывной колонной

Марка стали: S275



Приложенные нагрузки:

- постоянная нагрузка: 1000 кН

- переменная нагрузка: 1200 кН

2) Процедуры вычисления

Шаг 1: Гибкость колонны для предельного состояния при пожаре

Расчетная длина колонны при пожаре:  $L_{e,fi} = 0,5 \times 4,2 = 2,1$  м, Эйлерова нагрузка при потере устойчивости:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{e,fi}^2} = \frac{\pi^2 \times 205 \times 90590}{2,1^2} / 1000 = 41562 \text{ кН}$$

Несущая способность колонны при нормальной температуре в пластической стадии:

$$N_u = f_y \cdot A = 0,275 \times 15000 = 4125 \text{ кН}$$

Гибкость колонны при нормальной температуре:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_u}{N_{cr}}} = 0,315.$$

Приблизительная гибкость колонны для противопожарного расчета:

$$\bar{\lambda}_\theta = 1,2 \cdot \bar{\lambda} = 0,378.$$

Шаг 2: Предельная температура колонны

Предполагая, что коэффициент надежности 0,5 для переменной нагрузки (см Таблицу 9.1 настоящего пособия), получаем приложенную нагрузку в колонне в предельном состоянии при пожаре:  $1000 + 2000 \times 0,5 = 1600$  кН.

Согласно Формула (10.3),  $\alpha = 0,601$ ,  $\varphi = 0,685$ ,  $\chi_{fi} = 0,796$ . Предположим, что коэффициент надежности для стали в огне 1,0, тогда согласно Формуле (10.2):

$$k_{y,\theta} = N_{b,fi,t,Rd} / (\chi_{fi} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M,fi}) = 1600 / (0,796 \times 4125 / 1,0) = 0,487$$

Из Таблицы 8.1 последнего пособия предельная температура колонны 595°C.

При данной температуре понижающий коэффициент для модуля упругости стали 0,3245, значение второго условия в правой части Формулы (10.4) настоящего пособия равно 1,225 последнего пособия. Согласно Формуле (10.3) настоящего пособия, гибкость колонны при пожаре 0,386. Гибкость отличается от принятого значения 0,378, и повторение необходимо.

Следующее повторение вычисляет пересмотренную предельную температуру колонны 594°C, которая достаточно близка к предыдущему значению и может быть взята как окончательная предельная температура колонны.

### 10.3.3 Равномерно нагреваемая колонна с поперечным сечением 4 класса

Для колонн с поперечным сечением 4 класса, где местная устойчивость важна, СН РК EN 1993-1-2 предлагает два альтернативных метода оценки огнестойкости колонны. В более простом подходе, СН РК EN 1993-1-2 рекомендует консервативную ограничивающую температуру колонны в 350°C. Альтернативный подход присутствует в Приложении Е СН РК EN 1993-1-2. В этом подходе, расчетная ширина используется для рассмотрения эффектов местной устойчивости, и СН РК EN 1993-1-2 рекомендует использовать идентичную рабочую ширину как при нормальной температуре. В последствии, расчетные вычисления должны продолжиться таким же образом, как и у колонн с поперечным сечением 1, 2 или 3 класса, за исключением того, что свойства поперечного сечения брутто 1, 2 или 3 класса должны быть заменены эффективными свойствами поперечного сечения 4 класса.

#### **10.3.4 Равномерно нагреваемая колонна под воздействием осевой нагрузки и изгибающего момента**

Для равномерно нагреваемых колонн под воздействием осевой нагрузки и изгибающего момента, СН РК EN 1993-1-2 обеспечивает два набора формул, один для элементов с поперечными сечениями 1, 2 и 3 класса и один для элементов с поперечными сечениями 4 класса. Данные формулы идентичны формулам при нормальной температуре из СН РК EN 1993-1-1, однако, должна использоваться несущая способность элемента под воздействием своей осевой нагрузки или изгиба при повышенной температуре.

#### **10.3.5 Неравномерно нагреваемые стальные колонны**

Есть много практических ситуаций, где стальная колонна неоднородно нагревается, например колонна, являющаяся частью стены, где воздействие пожара только с одной стороны. В настоящее время, рекомендации СН РК EN1993-1-2 относительно этой проблемы довольно упрощены, утверждая, что «расчетная несущая способность сжатого элемента с неравномерным температурным распределением может быть взята равной расчетной несущей способности сжатого элемента с равномерной температурой  $\theta$ , равной максимальной температуре стали». Для колонн с поперечным сечением 1, 2 или 3 класса рекомендации СН РК EN 1993-1-2 разумны, если гибкость колонны или очень низка или очень высока. Для колонн со средней гибкостью ( $40 < \lambda < 100$ ), рекомендации СН РК EN 1993-1-2, возможно, не безопасны. Может быть, необходимо использовать более продвинутые методы вычисления. Для колонн с поперечным сечением класса 4 может использоваться Приложение Е СН РК EN1993-1-2, но эффект теплового изгиба должен быть определен.

### **11 РАСЧЕТ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

#### **11.1 Общие положения**

Данный раздел настоящего пособия содержит информацию о расчете изгибаемых элементов (стальные балки).

Предполагается, что температуры в поперечном сечении балки являются входными данными.

Дополнительно, пользователи данного пособия должны обратиться к Разделу 6 настоящего пособия

#### **11.2 Стальные балки**

##### **11.2.1 Общие положения**

Расчеты стальных балок в предельном состоянии при пожаре подобны вычислениям в СН РК EN 1993-1-1 при нормальной температуре. В СН РК EN 1993-1-2, стальная балка должна быть проверена на:

- достаточную несущую способность по изгибающему моменту;
- достаточную несущую способность на сдвиг;
- достаточную несущую способность при изгибно-крутильной потере устойчивости;
- предельную деформацию.

### 11.2.2 Несущая способность по изгибающему моменту

Стальные балки обычно подвергаются воздействию пожара с трех сторон, так как верх балок изолирован полом верхнего этажа, поэтому температурное распределение в поперечном сечении балки имеет тенденцию быть неравномерным. Неравномерное температурное распределение означает, что прочность стали и жесткость будут отличаться в различных местах поперечного сечения, что должно быть учтено при вычислениях.

В СН РК EN 1993-1-2, несущая способность по изгибающему моменту поперечного сечения 1 или 2 класса равна пластической несущей способности по изгибающему моменту поперечного сечения, которая может быть вычислена с использованием двух методов. В первом методе, который называют пластическим методом определения несущей способности изгибающего момента (см.Пункт 4.2.3.3(2)), СН РК EN 1993-1-2 стальное поперечное сечение делится на многие блоки. Каждый блок, как предполагается, достигает своего предела текучести. После обнаружения нейтральной оси пластичности поперечного сечения, которое делит поперечное сечение на сжатую и растянутую часть с единой осевой несущей способностью, пластическая несущая способность по изгибающему моменту поперечного сечения получается путём суммирования вклада всех блоков. Этот метод требует наличия информации о температурах всего поперечного сечения. В альтернативном методе (см.Пункт 4.2.3.3(3)) СН РК EN 1993-1-2 пластическая несущая способность по изгибающему моменту поперечного сечения с неравномерным температурным распределением связана с равномерным температурным распределением и вычисляется по формуле:

$$M_{fi,t,Rd} = \frac{M_{fi,\theta,Rd}}{k_1} \quad (11.1)$$

где  $M_{fi,t,Rd}$  – пластическая несущая способность по изгибающему моменту поперечного сечения с неравномерным температурным распределением,  $k_1 (= 0,7)$  коэффициент изменения и  $M_{fi,\theta,Rd}$  – пластическая несущая способность по изгибающему моменту поперечного сечения при равномерной температуре  $\theta$ . Если не учитывать коэффициенты надежности,  $M_{fi,\theta,Rd}$  определяется путём умножения пластической несущей способности по изгибающему моменту поперечного сечения при нормальной температуре на понижающий коэффициент для предела текучести стали ( $k_{y,\theta}$  в Таблице 8.1). В СН РК EN 1993-1-2, равномерная температура  $\theta$  упоминается как «равномерная температура  $\theta_a$  во времени  $t$  в поперечном сечении, которое не подвергается термическому воздействию от опор». Это скорее запутывающее определение. Так как нижняя полка поперечного сечения – самый критический элемент, равномерная температура  $\theta$  должна быть взята так, как будто полка находится в удалении от опор.

Для поперечных сечений 3 класса должна использоваться Формула (11.1). Однако,

$M_{fi,\theta,Rd}$  должно быть взято как упругая несущая способность по изгибающему моменту поперечного сечения при равномерной температуре  $\theta$ .

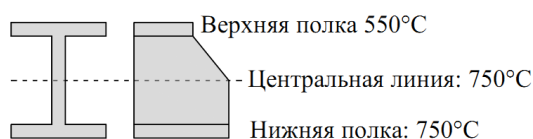
Приводимый ниже пример иллюстрирует данные методы вычисления.

**ПРИМЕР 6** Вычисление несущей способности по моменту

1) Исходные данные

Рисунок 11.1 показывает температурное распределение в поперечном сечении стальной балки, сделанной из 457 × 152 × 67UB.

Необходимо определить величину пластического изгибающего момента. Класс стали – S275, и коэффициент надежности по материалу 1,0.



**Рисунок 11.1 – Принятое температурное распределение для Примера 6**

2) Результаты вычисления

Метод 1: метод по определению несущей способности пластического изгибающего момента

Поперечное сечение может быть проверено на соответствие 1 классу. Поперечное сечение делится на пять слоев, состоящих из: верхней полки (153,8 мм на 15,0 мм), верхние  $1/4$  стенки,  $1/4$  стенки над осевой линией (верхние  $1/4$  стенки),  $1/2$  стенки под осевой линией, и нижней полки. Радиус кривизны всего поперечного сечения, как предполагается, одинаково распределяется вдоль стенки так, что толщина стенки равная 9,22 мм может использоваться в вычислениях. Результаты в итоге сводятся в Таблицу 11.1, где предполагается, что нижняя часть поперечного сечения растянута, а верхняя сжимается. Так как у верхней полки больше несущей способности на сжатие, чем объединенная несущая способность на растяжение других частей, пластическая нейтральная ось находится в верхней полке, которая далее делится на две области, один сжат (14,876 мм толщиной) и один растянут (0,124 мм толщиной) так, чтобы растягивающая и сжимающая несущие способности поперечного сечения были равны.

**Таблица 11.1 – Результаты вычисления для Примера 6**

Область	Температура области (°C)	Расчетная прочность (Н/мм <sup>2</sup> )	Несущая способность (кН)	Плечо рычага к пластической нейтральной оси (мм)	Несущая способность по моменту (кН · м)
Верхняя полка	550	$0,625 \times 275 = 171,9$	393,3 (C)	7,438 (C)	2,925
			3,28 (P)	0,062 (P)	0,002
Верх $1/4$ стенки	600	$0,47 \times 275 = 129,25$	127,5 (P)	53,624 (P)	6,837
$1/4$ стенка над осью	700	$0,23 \times 275 = 63,25$	62,40 (P)	160,624 (P)	10,023
$1/2$ стенка ниже оси	750	$0,17 \times 275 = 46,75$	92,24 (P)	321,124 (P)	29,620
Нижняя полка	750	46,75	107,85 (P)	435,624 (P)	46,982
Всего	—	—	$C = T = 393,3$	—	96,389

Пластическая несущая способность по изгибающему моменту поперечного сечения –  
 $M_{pl,t,Rd} = 96,389 \text{ кН} \cdot \text{м}$

Метод 2: по Формуле (11.1) настоящего пособия

Модуль пластичности поперечного сечения –  $1453 \text{ см}^3$ . Пластическая несущая способность по изгибающему моменту поперечного сечения равна:

$$M_{pl,t,RD} = (0,17 \times 0,275 \times 1453) / 0,7 = 97,04 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Для этого поперечного сечения и особого температурного распределения, эти два метода получают почти идентичные результаты. Вообще, альтернативный метод (Уравнение (11.1)), считается, дает более точные результаты. Приоритет более сложного пластического метода определения несущей способности по изгибающему моменту – при контакте с поперечными сечениями с очень крутыми неравномерными температурными перепадами – например, угловые балки карниза или тонкие балки перекрытия.

Иногда цель расчета методом критической температуры балки состоит в том, чтобы узнать максимальную температуру, которую балка может выдержать при заданной нагрузке. Если нет никакой опасности изгибно-крутильной потери устойчивости (что почти всегда верно в предельном состоянии при пожаре), и расчет балки проводится с учетом несущей способности по изгибающему моменту, может использоваться метод критической температуры из Пункта 4.2.4 СН РК EN 1993-1-2. Критическая температура – максимальная температура, которую может выдержать балка. В методе критической температуры, критическая температура балки связывается с коэффициентом использования ( $\mu_0$ ) балки, который является отношением приложенного максимального изгибающего момента в балке в предельном состоянии при пожаре к несущей способности изгибающего момента балки при нормальной температуре, то есть пластической несущей способности по изгибающему моменту для поперечных сечений 1 или 2 класса или упругой несущей способности по изгибающему моменту для поперечного сечения 3 класса. Для поперечного сечения с неравномерным температурным распределением коэффициент использования должен быть изменен путём умножения на коэффициент  $k_1 = 0,7$ . Связь между методом критической температуры и коэффициентом использования:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \cdot \ln \left( \frac{1}{0,9674 \cdot \mu_0^{3,833}} - 1 \right) + 482 \quad (11.2)$$

Следующий пример иллюстрирует область применения метода критической температуры.

#### ПРИМЕР 7 Метод критической температуры

##### 1) Исходные данные

Вычислить критическую температуру поперечного сечения, рассмотренного в Примере 6 настоящего пособия. Предположим, что приложенный максимальный изгибающий момент в балке в предельном состоянии при пожаре равен пластической несущей способности по изгибающему моменту, вычисленной при использовании метода 2 в Примере 6 настоящего пособия.

##### 2) Результаты вычисления

Результаты вычисления коэффициента использования:

$$\mu_0 = 0,7 \times 97,04 / (0,275 \times 1453) = 0,17$$

По Формуле (11.2) вычисляем  $\theta_{a,cr} = 749,4^{\circ}\text{C}$ . Эта критическая температура идентична максимальной температуре в  $750^{\circ}\text{C}$  используемой в Примере 6. Это не удивительно, поскольку отношение коэффициента использования к критической температуре (см Формулу (11.2)) являются результатом подбора кривых отношения эффективного предела текучести стали к температуре, вычисленный в Таблице 8.1.

### **11.2.3 Несущая способность на сдвиг**

Вычисление несущей способности на сдвиг стального поперечного сечения при пожаре идет по тому же пути, как и при нормальной температуре, то есть несущая способность на сдвиг поперечного сечения – несущая способность на сдвиг стенки. В Пункте 4.2.3.3(6) СН РК EN 1993-1-2, справочная температура стенки определяется как средняя температура стенки. Это – приближение, потому что, строго говоря, процесс усреднения должен быть применимым к расчетной прочности стали стенки вместо температуры стенки. Однако, усреднение расчетной прочности стальной стенки было бы более трудоемким. Следующий пример может использоваться для иллюстрации различия двух процессов усреднения.

**ПРИМЕР 8** Вычисление несущей способности на сдвиг

1) Исходные данные

Вычислить несущую способность на сдвиг поперечного сечения в Примере 6 настоящего пособия.

2) Результаты вычисления

2.1) Используем среднюю температуру стенки

Средняя температура стенки:

$$\frac{1}{2} \cdot \left( \frac{(550 + 750)}{2} + 750 \right) = 700^{\circ}\text{C}$$

определение понижающего коэффициента для предела текучести стали  $k_{y,\theta,web} = 0,23$  согласно Таблице 8.1.

2.2) Используя среднюю расчетную прочность стальной стенки

Предположим, что стенка делится на три части как в Примере 6 настоящего пособия. Средний понижающий коэффициент для предела текучести стали стенки:

$$k_{y,\theta,web} = \frac{1}{2} \times [(0,47 + 0,23)/2 + 0,17] = 0,26$$

Вычисление средней температуры стенки может быть трудоемким, потому что необходимо знать температурное распределение во всей стенке. Так как несущая способность на сдвиг обычно не является определяющей в проекте, безопасно предположить, что температура стенки – та же самая, что и горячей полки.

### **11.2.4 Изгибно-крутильная потеря устойчивости**

#### **11.2.4.1 Общие положения**

Изгибно-крутильная потеря устойчивости редко может быть проблемой для проектирования стальных балок в предельном состоянии при пожаре.

Кратко методы вычисления из СН РК EN 1993-1-2.приведены в Пунктах 11.2.3.2 и 11.2.3.3 настоящего пособия.

#### **11.2.4.2 Стальная балка с равномерным температурным распределением в поперечном сечении**

Для балки с равномерным температурным распределением в поперечном сечении, вычислять несущую способность изгибно-крутильной потери устойчивости балки в предельном состоянии при пожаре следует по той же самой методике как при нормальной температуре в СН РК EN 1993-1-1. Но есть два изменения: (1) гибкость балки должна быть изменена, чтобы принять во внимание различие в понижающих коэффициентах для предела текучести и модуле упругости стали при повышенных температурах; (2) коэффициент снижения прочности для изгибно-крутильной потери устойчивости в предельном состоянии при пожаре следует вычислять по Формуле (8.3) вместо использования любой из кривых устойчивости из СН РК EN 1993-1-1. Оба изменения идентичны таковым для стальных колонн, и они были уже описаны в Пункте 8.3.

#### **11.2.4.3 Стальная балка с неравномерным температурным распределением в поперечном сечении**

Когда температурное распределение в поперечном сечении стальной балки неоднородно, метод вычисления для проверки несущей способности по изгибно-крутильной потери устойчивости является тем же самым, что для балки с равномерным температурным распределением, но максимальная температура сжатой полки  $\theta_{a,com}$  должна использоваться в качестве справочной равномерной температуры балки. Очень консервативно, если принять, что у сжатой полки из всего поперечного сечения – самая высокая температура. Этот метод, возможно, не безопасен, если у сжатой полки – самая низкая температура.

#### **11.2.5 Учет деформации**

Основная цель расчета противопожарной безопасности состоит в том, чтобы предотвратить распространение пожара. Для несущего элемента главный критерий расчета – избежать конструктивного разрушения, поэтому расчетная прочность элемента – основной показатель. Однако, для некоторых балок, деформацию, вероятно, также придется учесть. Например, становится важным учесть следующие отклонения:

- 1) большие отклонения балки подвергают огнезащитный материал большим напряжениям, который может стать хрупким и отделиться от стальной балки;
- 2) большая деформация балки может привести к проемам в смежных элементах под балкой, приводя к нарушению целостности конструкции несгораемой секции.

Вероятно, что пределы деформации балки для вышеупомянутых двух случаев будут отличаться. Если расчет касается исполнения огнезащитного материала, предел деформации должен соответствовать максимальному напряжению стали, которое сделало огнезащитный материал неэффективным. Вообще, обычно используемые огнезащитные материалы могут воспринять большие деформации так, чтобы полная прочность стали могла быть обеспечена. Однако, если огнезащитный материал не может воспринять

большие деформации, расчетная прочность стали должна быть уменьшена до соответствующего максимальному уровню деформаций огнезащитного материала.

Для второго случая, когда стальная балка может деформироваться, не нарушая целостность секции, должным образом никогда не рассматривался. Но в свете недавних прорывов в конструктивной разработке пожара, в которой деформации конструкций могут приблизиться к очень большим значениям, не вызывая разрушение конструкций, расчет, основанный на одной только прочности конструкции, возможно, не соответствует противопожарной безопасности и может быть необходимо явно проверить деформации конструкций. Для этого будет необходимо использовать передовые методы вычисления, потому что упрощенные методы вычисления в различных СН РК EN не могут выполнить эту задачу.

### **11.3 Стальная балка под воздействием огня с трех сторон и бетонной плитой на четвертой стороне**

Стальная балка, под воздействием огня с трех сторон и бетонной плитой на четвертой стороне, может быть спроектирована или как стальная балка или как сталежелезобетонная балка. В Пункте 11.2 описан расчет для стальных балок.

## **12 ДРУГИЕ ВИДЫ КОНСТРУКЦИИ**

### **12.1 Общие положения**

Много изысканий было проведено для того, чтобы исследовать огнестойкость различных видов стальных конструкций, где соответствующая противопожарная защита стальных элементов обеспечена существующими конструктивными элементами так, чтобы не было потребности в дополнительной противопожарной защите. СН РК EN 1994-1-2 содержит много таких элементов конструкций, например, универсальные балки и колонны, заполненные железобетоном, трубчатые колонны, где железобетон используется как часть конструктивной несущей системы, так и для обеспечения противопожарной защиты стали.

### **12.2 Тонкие балки перекрытия**

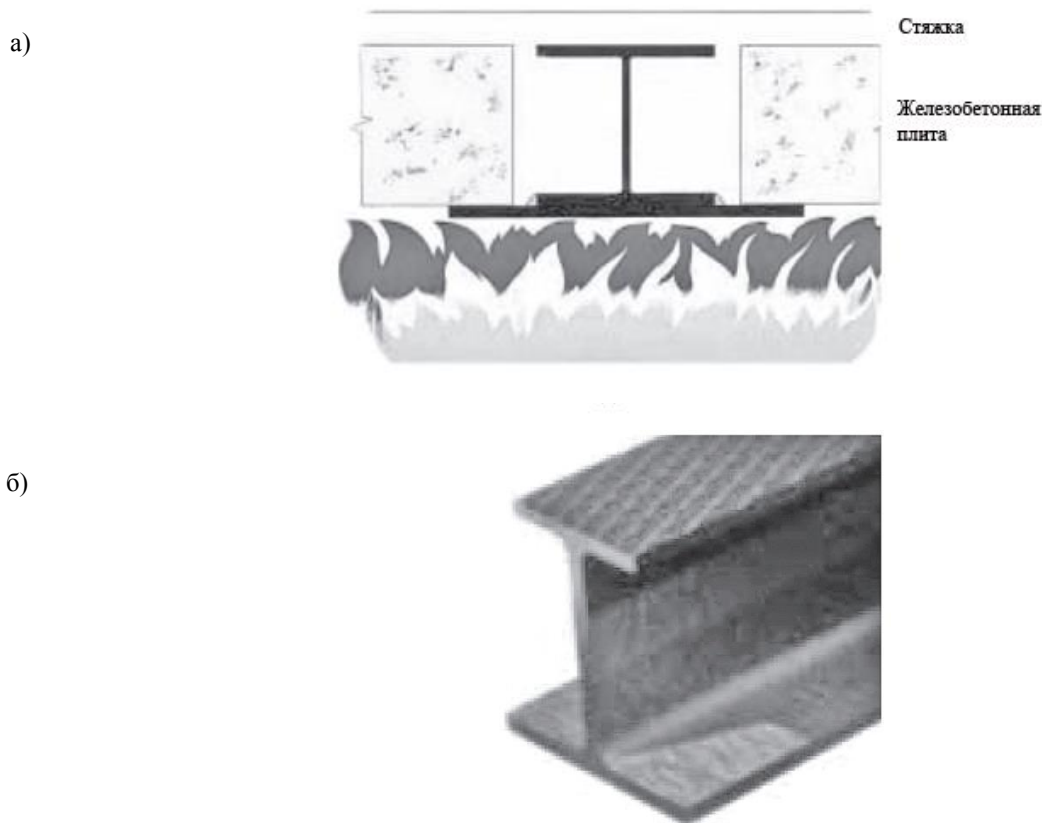
Тонкая балка перекрытия производится путем приварки широкой стальной плиты к нижней полке универсальной колонны. Плита железобетона/сталежелезобетона поддерживается дополнительным листом. Рисунок 12.1 а) приводит пример такой конструкции. Асимметричная балка подобна тонкой системе балки перекрытия, различие состоит в том, что дополнительная приварка не требуется (Рисунок 12.1 б)). В обеих системах железобетон окружает верхнюю полку и стенку стальной балки и только более низкая полка подвергнута пожару. Таким образом, в стальной балке есть существенное остаточное сопротивление. Следствия стандартных тестов огнестойкости указывают, что этот вид конструкции может достигнуть стандартной оценки огнестойкости 60 минут без противопожарной защиты.



### 12.3 Балки с опорными уголками

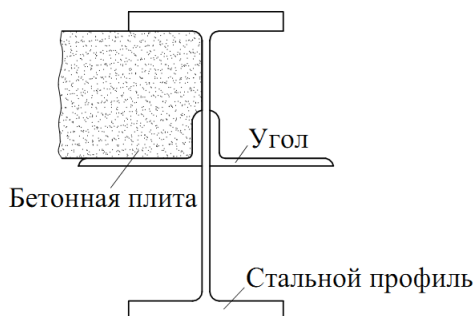
Балки с опорными уголками производятся приваркой пары стальных угловых профилей к обеим сторонам стенки балки. Функция этих угловых профилей состоит в опоре плиты бетонированного пола. На Рисунке 12.2 приводится пример такого вида конструкции. При условиях пожара только нижняя полка и нижняя часть стенки балки подвергнуты воздействию пожара. Верхняя полка и верхняя часть стенки балки защищены плитами бетонированного пола. Стальные уголки могут также способствовать огнестойкости системы. Результаты стандартных испытаний на огнестойкость предполагают, что этот вид конструкции может достигнуть, по крайней мере, 30 минут стандартной огнестойкости без противопожарной защиты.

Стандартное вычисление огнестойкости для этого вида конструкции основано на пластическом расчете стального профиля и вклад бетонных плит проигнорирован.



а) тонкая балка перекрытия; б) асимметричная балка;

**Рисунок 12.1 – Балка перекрытия**



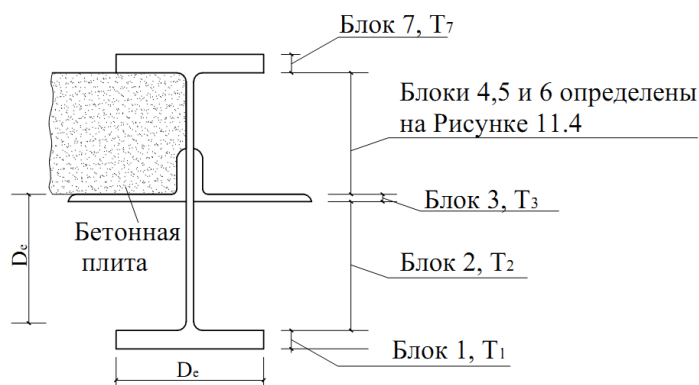
**Рисунок 12.2 – Поперечное сечение балки с опорными уголками**

Данное пособие содержит приближенный метод вычисления для определения температуры в стальном профиле, включая стальные уголки при стандартном условии пожара. Эта методика представлена ниже. В этом методе стальной профиль разделен на семь блоков, как показано на Рисунке 12.3.

Блок 1 – нижняя полка. Ее температура может быть вычислена, используя Уравнение (6.1) и коэффициент сечения незащищенной нижней полки

$$\frac{A_m}{V} = \frac{2 \cdot (B_e + t_f)}{B_e \cdot t_f} \approx \frac{2}{t_f} \quad (12.1)$$

где  $t_f$  – толщина более низкой полки.



**Рисунок 12.3 – Температурные блоки балки с опорными уголками**

Блок 2 – нижняя стенка стального профиля балки. Анализ стандартных результатов испытаний огнестойкости указывает, что температура в блоке 2 непосредственно связана с температурой нижней полки, немного скорректированной теплопередачей к бетонной плите. Уровень теплопередачи к бетонной плите представлен величиной отношения ( $D_e/V$ ). С помощью Таблицы 12.1 вычисляется температура в нижней части стенки стального профиля, где  $T_1$  – температура нижней полки профиля.

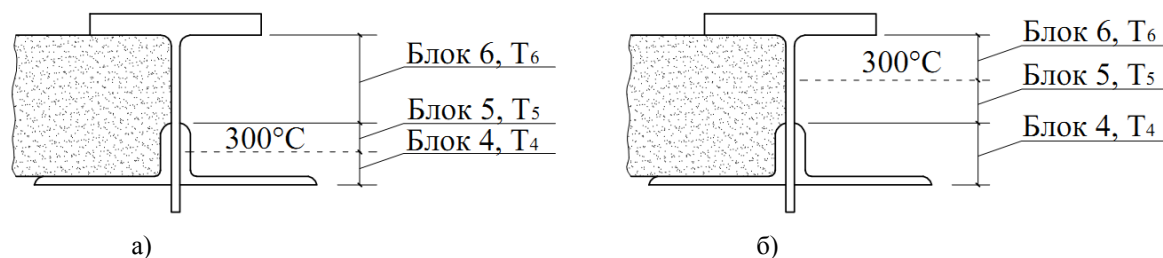
Блок 3 – полка углового профиля. Ее температура вычислена в Таблице 12.2. Точные местоположения блоков 4, 5 и 6 зависят от местоположения линии, где температура равна 300°C. Если температура стали ниже 300°C, то сталь, как предполагается, сохраняет свою первоначальную прочность. Рисунок 12.4 иллюстрирует два возможных местоположения температурной линии, на которой достигается 300°C и определение трех блоков.

**Таблица 12.1 – Температура нижней части стенки (см. блок 2 на Рисунке 12.3)**

Соотношение размеров	Температура стенки в течение периода огнестойкости		
	30 минут	60 минут	90 минут
$D_e/B \leq 0,6$	$T_1 - 140$	$T_1 - 90$	$T_1 - 60$
$0,6 < D_e/B \leq 0,8$	$T_1 - 90$	$T_1 - 60$	$T_1 - 30$
$0,8 < D_e/B \leq 1,1$	$T_1 - 45$	$T_1 - 30$	$T_1$
$1,1 < D_e/B \leq 1,5$	$T_1 - 25$	$T_1$	$T_1$
$1,5 < D_e/B$	$T_1$	$T_1$	$T_1$

**Таблица 12.2 – Температура угловой полки балки**

Соотношение размеров	Температура угловой полки балки в течение периода огнестойкости		
	30 минут	60 минут	90 минут
$D_e/B \leq 0,6$	475	725	900
$0,6 < D_e/B \leq 0,8$	510	745	910
$0,8 < D_e/B \leq 1,1$	550	765	925
$1,1 < D_e/B \leq 1,5$	550	765	925
$1,5 < D_e/B$	550	765	925



а) в угловой полке; б) выше уголка

**Рисунок 12.4 – Определение блоков 4, 5 и 6**

У блоков 6 и 7 температуры ниже, чем 300°C. Так как полная прочность стали сохраняется, никакое дальнейшее вычисление не требуется.

Температуры в блоках 4 и 5 вычислены по формуле:

$$T_x = T_R - G_x, T_x \geq 300^\circ\text{C} \quad (12.2)$$

где  $T_R$  – температура в месте крепления уголка;

$x$  – расстояние (в мм) от места крепления уголка;

$G$  – температурный градиент (в °C/мм) в этой области.

Температурные градиенты 2.3°C/мм, 3.8°C/мм и 4.3°C/мм в течение стандартных периодов огнестойкости 30 минут, 60 минут и 90 минут соответственно.

Из Формулы (12.1) настоящего пособия, местоположение 300°C вычисляется как

$$x = \frac{T_R - 300}{G}. \quad (12.3)$$

Значения  $T_R$  вычислены в Таблице 12.3.

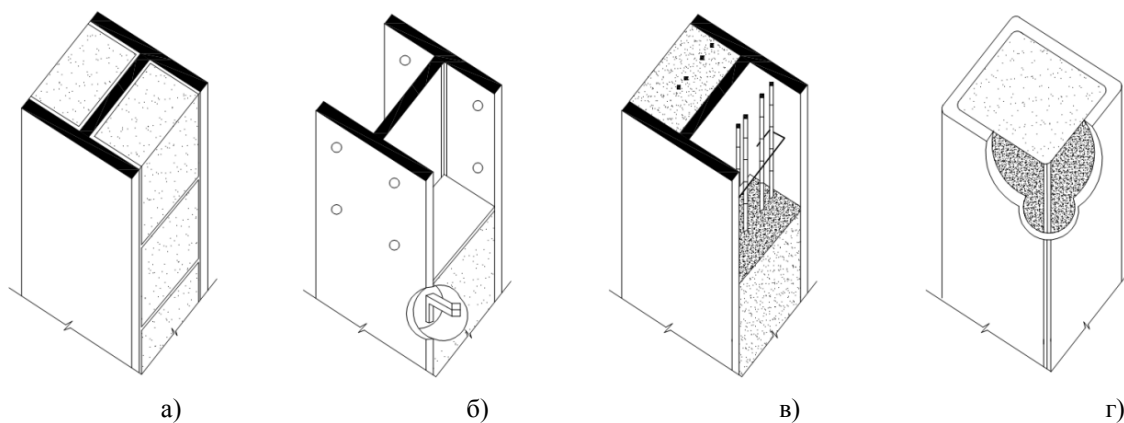
Таблица 12.3 – Температура  $T_R$ 

Соотношение размеров	Значение $T_R$ в течение периода огнестойкости		
	30 минут	60 минут	90 минут
$D_e/B \leq 0,6$	350	600	775
$0,6 < D_e/B \leq 0,8$	385	620	785
$0,8 < D_e/B \leq 1,1$	425	640	800
$1,1 < D_e/B \leq 1,5$	425	640	800
$1,5 < D_e/B$	425	640	800

#### 12.4 Заполненные колонны

Огнестойкость стальной колонны значительно увеличена, если обработанные в автоклаве проветривающиеся бетонные блоки помещены между внутренними сторонами полок. Это (консервативно) принятый вариант, в котором блоки не вносят вклада в несущую способность и обеспечивают изоляцию стенке колонны и внутренней поверхности полок и приводят к сокращению подъема температуры стального профиля. Ситуация иллюстрирована на Рисунке 12.5.

Это решение является подходящим для 30 минутной огнестойкости при условии, что отношение нагрузки не превышает 0,6 и что коэффициент сечения не превышает  $69 \text{ м}^{-1}$ . Наименьший размер колонны, требуемый для достижения 30 минутной огнестойкости, является  $203 \times 203 \times 52 \text{ УК}$  и бетонные блоки должны иметь минимальную плотность  $475 \text{ кг/м}^3$  для достижения необходимого уровня изоляции. Если потребуются периоды огнестойкости более 30 минут – доступные решения это частично заполненные колонны и заполненные железобетоном прямоугольные полые профили.



- а) стальная колонна с бетонными блоками;  
 б) частично заполненная стальная (не армированная) колонна;  
 в) частично заполненная стальная колонна (армированная);  
 г) заполненный железобетоном стальной профиль

Рисунок 12.5 – Частично защищенные колонны

## 13 СОЕДИНЕНИЯ

### 13.1 Общие положения

Традиционное строительное противопожарное проектирование базировалось на основе рассмотрения отдельных элементов (балки, колонны, стены, плиты перекрытия). Методики оценки (стандартные испытания на огнестойкость) не рассматривают взаимодействие между элементами строительных конструкций. Поведение соединений при пожаре или в условиях после пожара может быть критическим с точки зрения обеспечения полной конструктивной устойчивости. СН РК EN поощряют проектировщиков рассматривать поведение соединений явно и обеспечивать большую гибкость с точки зрения доступных расчетных вариантов.

Наиболее распространенный подход к расчету соединения при пожаре должен гарантировать, что толщина пассивной противопожарной защиты, по крайней мере, равна используемой для соединяемых элементов (стальная и сталежелезобетонная конструкция). Однако, такой подход недостаточен для того, чтобы рассмотреть:

- приложенный уровень нагрузки соединения относительно связанных элементов;
- вязкость, требуемую для сглаживания больших деформаций, связанных с пожаром;
- предельное состояние по пределу прочности, требующее сопротивления большим усилиям растяжения, возникающим во время периода охлаждения при реальном пожаре.

### 13.2 Стальные и сталежелезобетонные соединения

В соединениях (или узлах) несущей стальной конструкции, вообще используются стандартные соединения со стандартными размерами болта и толщиной листа. Это упрощает и расчет, и процесс изготовления. Вообще, соединения могут быть классифицированы или как номинально шарнирные или как полностью заделанные в зависимости от их способности передать моменты от нагруженных балок в колонны. В действительности все соединения являются, до некоторой степени, полужесткими – то есть, у них есть некоторая способность к повороту и определенная степень закрепления. Один интересный аспект поведения соединения при пожаре – то, что соединения, ведут себя как полужесткие в случае пожара. В СН РК EN принят более строгий подход к проектированию, который классифицирует соединения согласно прочности и жесткости и вводит понятие частичной прочности и полужестких соединений.

Традиционный подход к расчету соединений при пожаре должен гарантировать, что есть достаточная пассивная противопожарная защита для соединения. В общем, это предполагает одинаковую толщину противопожарного покрытия, что и на примыкающих элементах. Однако, соединение может быть нагружено более высоким уровнем нагрузки, чем связанные части. Поскольку уровень нагрузки связан с огнестойкостью, то пассивная противопожарная защита, приложенная к соединению, может быть недостаточной. Кроме того, у соединения может быть недостаточная вязкость, чтобы компенсировать большие отклонения и повороты, типичные для предельного состояния при пожаре. Многие из проблем относительно соединений железобетона, также возникают и здесь. Самые

важные – возможность поворота соединений, эффекты теплового расширения из-за которых развиваются огромные сжимающие напряжения и несущая способность на растяжение во время периода охлаждения.

Определены два метода в противопожарной части (СН РК EN 1993-1-2) для расчета стальных конструкций. Первым является упрощенная процедура, изложенная в Пункте 4.2.1 (6) посредством чего:

Огнестойкость скрепленного болтами или сварного соединения, как может предполагаться, достаточна при выполнении условий:

1) тепловое сопротивление  $(d_f/\lambda_f)_c$  противопожарной защиты соединения должно быть более чем минимальное значение теплового сопротивления  $(d_f/\lambda_f)_m$  противопожарной защиты относительно любого из соединяемых элементов.

2) коэффициент использования несущей способности соединения должен быть менее чем минимальное значение коэффициента использования несущей способности любого из связанных элементов.

3) несущая способность соединения при нормальной температуре среды должна удовлетворить рекомендациям СН РК EN 1993-1-8.

Приложение D СН РК EN 1993-1-2 обеспечивает альтернативный метод для вычисления распределения температуры в узле. Как только получено распределение температуры, то несущая способность при сдвиге, несущая способность при растяжении и сжатии вычисляется с использованием соответствующих понижающих коэффициентов для учета эффекта повышенной температуры.

Температура соединения при пожаре вычислена для высот балки менее чем 400 мм:

$$\theta_h = 0,88 \cdot \theta_0 \cdot [1 - 0,3 \cdot (h/D)]$$

где  $\theta_h$  - температура на высоте  $h$  (мм) стальной балки (°C);

$\theta_0$  - температура нижней полки стальной балки, отдаленной от соединения (°C);

$h$  - рассматриваемая высота элемента, измеренная от основания балки вверх (мм);

$D$  - высота балки (мм)

Если высота балки больше чем 400 мм:

а) когда  $h$  – меньше чем  $D/2$ :

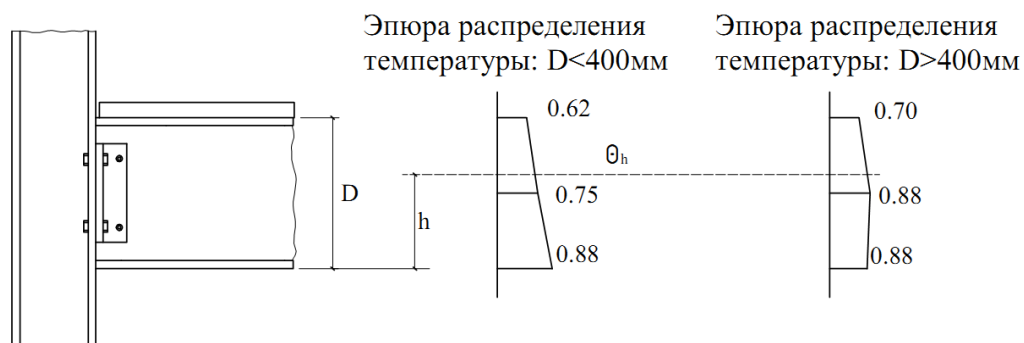
$$\theta_h = 0,88 \cdot \theta_0$$

б) когда  $h$  больше чем  $D/2$ :

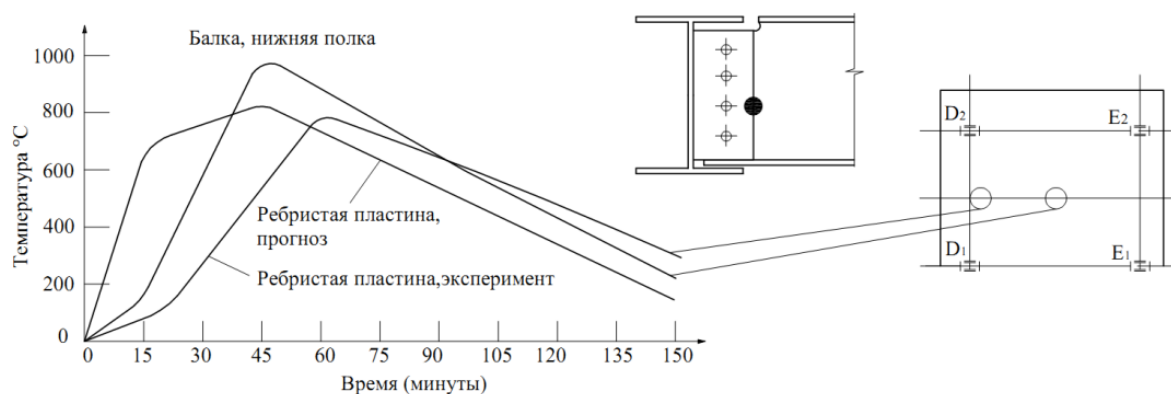
$$\theta_h = 0,88\theta_0 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1 - 2 \cdot h/D)]$$

Ситуация иллюстрирована на Рисунке 13.1.

Эта методология была подтверждена полномасштабными результатами испытаний, показанными на Рисунке 13.2.

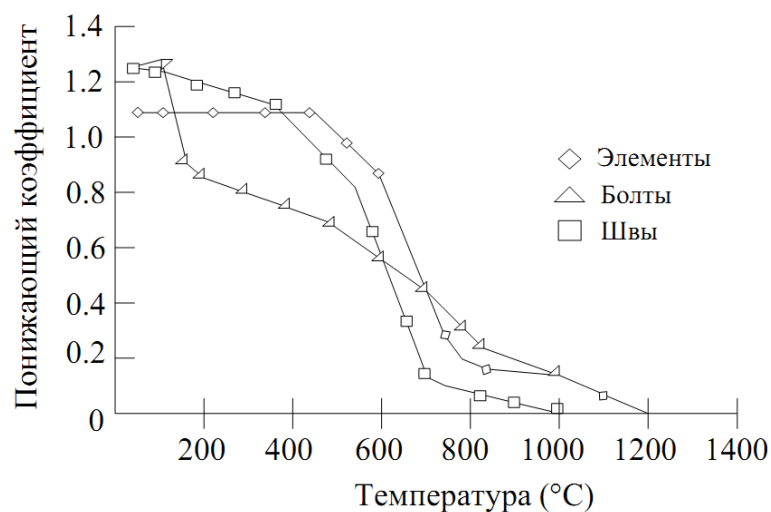


**Рисунок 13.1 – Тепловой градиент в пределах глубины сталежелезобетонного соединения**



**Рисунок 13.2 – Сравнение между расчетом по СН РК EN и результатами испытаний**

В актуальнейших расчетных методах основное предположение – это то, что у компонентов соединения и опорных элементов есть тот же самый уровень снижения прочности. Рисунок 13.3 сравнивает коэффициенты снижения прочности для элементов, болтов и сварных швов.



**Рисунок 13.3 – Понижающие коэффициенты для элементов, болтов и сварных швов**

На приведенном рисунке можно заметить, что, между  $350^{\circ}\text{C}$  и  $1000^{\circ}\text{C}$ , прочность сварных швов уменьшается быстрее, чем для связующих элементов. Точно так же между  $100^{\circ}\text{C}$  и  $600^{\circ}\text{C}$  прочность болтов уменьшается быстрее, чем связанных элементов.

Самые практичные соединения для сопротивления приложенной нагрузке – это комбинация сварки и болтов. Поэтому трудно сказать с уверенностью, которая из этих двух компонентов будет лучшей в предельном состоянии при пожаре.

Однако температурный профиль в соединении отличается от связанного элемента. Уровень нагрева имеет тенденцию быть ниже через комбинацию более высокого количества тепла в местоположении соединения и эффектах ограждения от связанных элементов. Можно прийти к заключению, что неудобства, связанные со снижением прочности болтов и сварки, перевешиваются преимуществами, связанными с уменьшенным тепловым градиентом соединения. Поэтому, простые правила, детализированные в СН РК EN, не представляют снижения существующих уровней безопасности.

#### ПРИМЕР 9 Соединение балки с колонной по главной оси

##### 1) Исходные данные

Рассчитывается соединение балки с колонной, иллюстрированное на Рисунках 13.4 и 13.5.

##### 2) Результаты вычисления

В СН РК EN 1993-1-2 представлены две методики для скрепленных болтами или сварных соединений. Первая основана на предположении, что огнестойкость узла больше или равна одному из связанных элементов. Вообще это – консервативный метод, так как температура соединения меньше чем температура одной из балок. Однако также необходимо рассмотреть использование соединения по сравнению с использованием элемента. Как упрощение, использование узла и связанных элементов может быть связано с нагрузкой и несущей способностью при нормальной температуре.

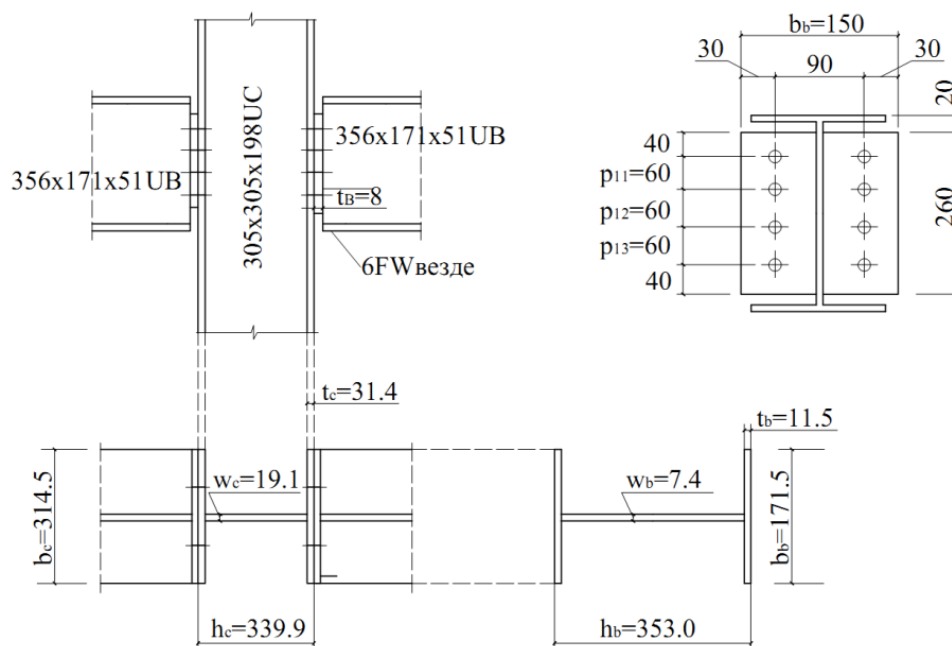


Рисунок 13.4 – Детали главного соединения балки к колонне



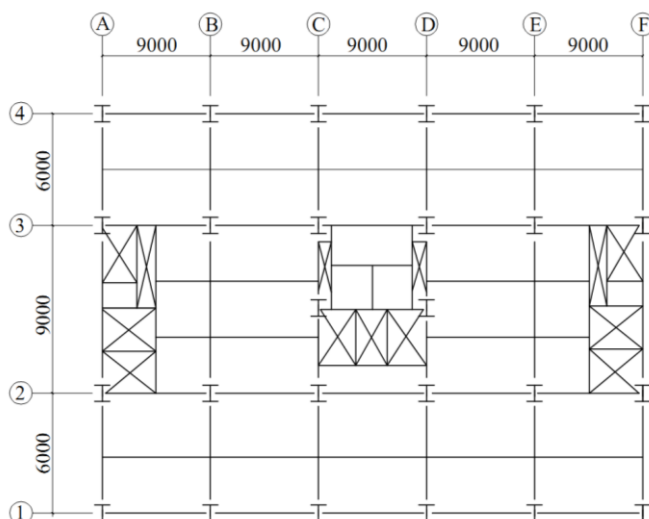


Рисунок 13.5 – Схема перекрытия

Альтернативно, несущая способность узла может быть оценена согласно Приложению D СН РК EN 1993-1-2, посредством чего вычисляется температура компонентов и понижающие коэффициенты определяют несущую способность узла.

Считается соединение в местоположении E1, отмеченном на Рисунке 13.5.

Нагрузка:

- значения воздействий в предельном состоянии при пожаре вычислены в Таблице 13.1;
- для целей расчета частичная нагрузка классифицируется как приложенная, чтобы учесть разборные части. Для предельного состояния при пожаре частичная нагрузка включена в постоянную нагрузку.

Таблица 13.1 – Воздействия при предельном состоянии при пожаре

Природа нагрузки	Значение (кН/м <sup>2</sup> )
Сталежелезобетонная плита	2,06
Сечения конструкционной стали	0,25
Фальшпол	0,40
Эксплуатационная	0,25
Потолок	0,15
Перегородки	1,00
Приложенная	2,50

Постоянные воздействия (G):

- равномерно распределенная нагрузка  $G_k = 3,11 \text{ кН/м}^2$  ( $4,11 \text{ кН/м}^2$  предельное состояние при пожаре).

Переменные воздействия (Q):

- равномерно распределенная нагрузка  $Q_k = 3,50 \text{ кН/м}^2$  ( $2,5 \text{ кН/м}^2$  предельное состояние при пожаре)

Коэффициенты нагрузки – нормальная температура:

- коэффициент надежности для постоянных воздействий:  $\gamma_g = 1,35$ ;

- коэффициент надежности для переменных воздействий:  $\gamma_Q = 1,50$  (см. СН РК EN 1990, Таблица A1.2 (B)).

Коэффициенты нагрузки – предельное состояние при пожаре:

- для предельного состояния при пожаре, коэффициенты надежности по нагрузке  $\gamma_i$  не являются приложенными к любому постоянному или переменному воздействию;

- коэффициент сочетания для переменного воздействия  $\psi_1 = 0,50$  (см. СН РК EN 1990, Таблица A1.3).

Расчетное значение воздействий при нормальной температуре:

- первое предельное состояние по несущей способности:

$$F_{Ed} = (\gamma_G \cdot G_k) + (\gamma_Q \cdot Q_k) = 9,45 \text{ кН/м}^2$$

- расчетный момент на основной балке равен:

$$M_{Ed} = (R \cdot l)/4;$$

где R - реакции конца от каркаса второстепенных балок в основную балку между линиями сетки E1 и E2:

$$R = [(l/2) \cdot L \cdot F_{Ed}] = 255,1 \text{ кН.}$$

Поэтому:

$$M_{Ed} = (R \times l)/4 = 382,66 \text{ кНм}$$

- расчетная поперечная сила равна реакции конца основной балки:

$$V_{Ed} R/2 = 127,6 \text{ кН}$$

Расчетное значение воздействий в предельном состоянии при пожаре:

- аварийная расчетная ситуация первого предельного состояния по несущей способности

$$F_{Ed,fi} = G_k + (\varphi_1 \times Q_k) = 5,36 \text{ (см. СН РК EN 1990, Таблица A1.3).}$$

- расчетный момент на основной балке равен:

$$M_{Ed,fi} = (R_{fi} \cdot l)/4;$$

где  $R_{fi}$  - реакция конца от каркаса второстепенных балок в основную балку между линиями сетки E1 и E2:

$$R_{fi} \cdot [(l/2) \cdot L \cdot F_{Ed,fi}] = 144,7 \text{ кН.}$$

Поэтому:

$$M_{Ed,fi} = (R_{fi} \cdot l)/4 = 217 \text{ кНм.}$$

- расчетная поперечная сила равна реакции конца основной балки:

$$V_{Ed,fi} = R_{fi}/2 = 72,3 \text{ кН.}$$

Метод 1:

$$(d_f/\lambda_f)_c \geq (d_f/\lambda_f)_m \text{ (см. Пункт 4.2.1 (6))}$$

где  $(d_f/\lambda_f)_c$  - отношение между толщиной огнезащитного материала и теплопроводностью огнезащитного материала для соединения;

$(d_f/\lambda_f)_m$  - отношение между толщиной огнезащитного материала и теплопроводностью огнезащитного материала для связанного элемента.

Несущая способность соединения – расчет при нормальной температуре

Соединения (E1) рассчитано как просто опертое при нормальной температуре и приемлемо проверку его использования выполнять при нормальной температуре. Несущая способность на сдвиг соединения оценена на простых соединениях. Несущая способность на сдвиг соединения, основанного на несущей способности на сдвиг группы болтов, несущей способности на сдвиг торцевой пластины, несущей способности на сдвиг блока и общей несущей способности торцевой пластины, получена в итоге в Таблице 13.2. Поскольку полка колонны является намного более

толстой, чем торцевая пластина, то отсутствует потребность в рассмотрении несущей способности полки колонны.

**Таблица 13.2 – Сдвиг торцевой пластины и допустимая нагрузка**

Проверка несущей способности	Формула	Несущая способность (кН)
Несущая способность на сдвиг группы болтов ( $F_v \leq \sum P_s$ )	$\sum p_s A_s$ (или $0.5 \cdot k_{bs} \cdot e_l \cdot t_p \cdot p_{bs}$ ) для верхних рядов болтов	699
Простая несущая способность на сдвиг торцевой пластины ( $F_v/2 \leq P_v$ )	Минимум ( $0.6 \cdot p_y \cdot A_v, 0.7 \cdot p_y \cdot K_e \cdot A_{vnet}$ )	270
Сдвиг блока ( $F_v/2 \leq P_r$ )	$0.6 \cdot p_y \cdot t_p \cdot [L_v + K_e \cdot (L_t - k \cdot D_h)]$	320
Несущая способность ( $F_v/2 \leq P_{bs}$ )	$k_{bs} \cdot d \cdot t_p \cdot p_{bs}$	294
ПРИМЕЧАНИЕ $F_v$ – расчетная поперечная сила, которая равняется $V_{Ed}$ , из СН РК EN 1993.		

Поэтому коэффициент использования соединения

$$(V_{Ed}/2)/270 = 0,236$$

Это значение должно быть сравнено с коэффициентом использования балки, соединенной с колонной.

Несущая способность основных балок – расчет при нормальной температуре.

Момент несущей способности сталежелезобетонной основной балки:

$$M_{c,Rd} = 515 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Поэтому коэффициент использования балки:

$$M_{Ed}/M_{c,Rd} = 0,74$$

где  $M_{Ed}$  – расчетный момент, определенный ранее.

Определение толщины противопожарной защиты

Если коэффициент использования для балки выше, чем для соединения, тогда этого достаточно для уверенности в том, что противопожарной защиты на соединении, по крайней мере, не меньше чем на балке.

Выбор соответствующей толщины защиты балки и теплопроводности может быть сделан на основе процедуры вычисления по защищенным стальным изделиям, детализированным в Разделе 7 настоящего пособия.

- Метод 2:

Приложение D СН РК EN 1993-1-2 приводит метод для определения распределения температуры в пределах соединения. Это можно использовать, чтобы получить понижающие коэффициенты, соответствующие местоположению отдельных компонентов.

На первом шаге вычисляется подъем температуры нижней полки (в середине пролета) присоединенной балки. Для этого примера предполагается, что необходимый период огнестойкости составляет 60 минут и что приложенная пассивная противопожарная защита, которая будет использоваться, является 20-миллиметровой гипсовой плитой, прикрепленной к трем сторонам балки. Соответствующая формула для защищенных элементов:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p \cdot A_p/V}{d_p \cdot c_a \cdot \rho_a} \cdot \frac{\theta_{g,t} - \theta_{a,t}}{1 + \frac{\phi}{3}} \cdot \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \cdot \Delta\theta_{g,t} \quad \Delta\theta_{g,t} \geq 0$$

и

$$\Phi = \frac{c_p \cdot \rho_p}{c_a \cdot \rho_a} \cdot d_p \cdot \frac{A_p}{V} \quad (\text{Пункт 6.2.5.2(1), Формула (6.27)})$$

где  $A_p/V$  - коэффициент сечения для защищенного стального элемента ( $136 \text{ м}^{-1}$ );

$c_a$  - удельная теплоемкость стали, зависящая от температуры ( $600 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ );

$c_p$  - удельная теплоемкость защитного материала ( $1700 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ );

$d_p$  - толщина противопожарной защиты ( $0,02 \text{ м}$ );

$\theta_{a,t}$  - температура стали во время  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\theta_{g,t}$  - температура окружающей среды во время  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\Delta\theta_{g,t}$  - увеличение температуры окружающей среды по временному шагу  $\Delta t$  ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\lambda_p$  - коэффициент теплопроводности огнезащитного материала ( $0,2 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ );

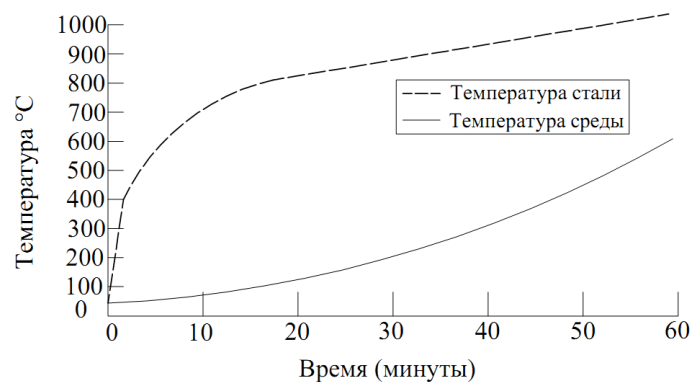
$\rho_a$  - плотность стали ( $7850 \text{ кг/м}^3$ );

$\rho_p$  - плотность материала защиты ( $800 \text{ кг/м}^3$ ).

Тогда:

$$\Phi = 0,7854.$$

Для стандартного пожара и указанного защитного материала температура стальной балки вычислена как  $445^{\circ}\text{C}$ . Температурно-временная зависимость проиллюстрирована на Рисунке 13.6.



**Рисунок 13.6 – Температура основной балки**

**ПРИМЕЧАНИЕ** Это не особенно эффективное проектное решение. Проектировщик может полагать, что рационализация противопожарной защиты (при использовании, например, 15-миллиметровой доски) увеличивает максимальную температуру в стальной балке.

Здесь высота балки меньше или равна 400 мм, поэтому:

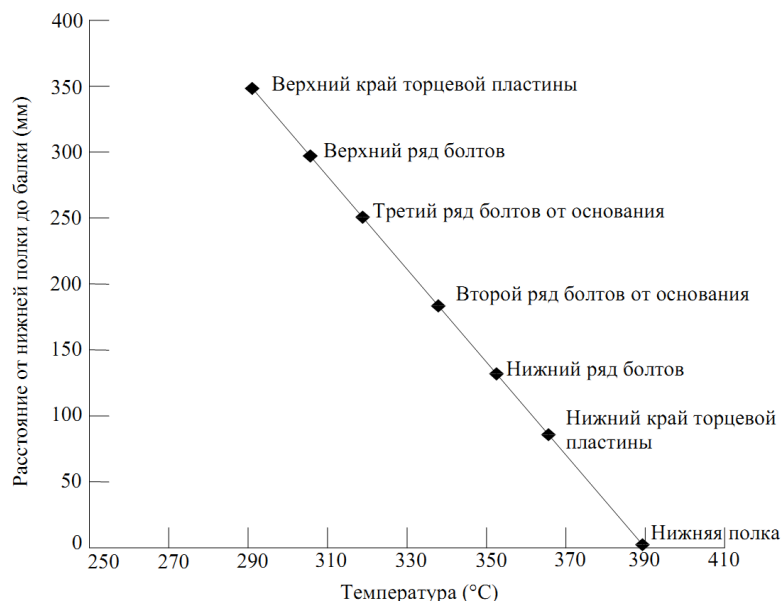
$$\theta_h = 0,88 \cdot \theta_0 \cdot [1 - 0,3 \cdot (h/D)] \quad (\text{D3.1 (4a)})$$

где  $\theta_h$  - температура на высоте  $h$  (мм) стальной балки ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\theta_0$  - температура нижней полки стальной балки в середине пролета ( $445^{\circ}\text{C}$ );

$h$  - рассматриваемая высота элемента относительно низа балки (мм);

$D$  - высота балки (355 мм).



**Рисунок 13.7 – Перераспределение температуры посредством соединения**

Температура критических компонентов проиллюстрирована графически на Рисунке 13.7. Расчетные значения приведены в Таблице 13.3.

Температуры в каждом местоположении используются, чтобы получить понижающие коэффициенты для отдельных компонентов или из Таблицы D.1 для болтов или из Таблицы 5.1 для торцевой пластины и колонны.

**Таблица 13.3 – Температура критических компонентов**

Описание	Расстояние от нижней полки (мм)	Температура (°C)
Нижняя полка стальной балки в середине пролета	0	445
Нижняя полка стальной балки около соединения	0	392
Нижний край торцевой пластины	75	367
Нижний ряд болтов	115	354
2-ой ряд болтов от основания	175	334
3-ий ряд болтов от основания	235	314
Верхний ряд болтов	295	294
Верхний край торцевой пластины	335	281

Оригинальные проверки повторяются с использованием понижающих коэффициентов для повышенной температуры и сравниваются с уменьшенной нагрузкой, приложенной в предельном состоянии при пожаре. В этом случае в расчете поперечная сила уменьшена согласно коэффициентам по нагрузке предельного состояния при пожаре.

Понижающие коэффициенты для отдельных компонентов получены в итоге в Таблице 13.4, и соответствующие проверки несущей способности изложены в итоге в Таблице 13.5.

Использование соединения в предельном состоянии при пожаре:

$$(V_{Ed,fi}/2)/270 = 0,14$$

Таблица 13.4 – Понижающие коэффициенты

Компонент	Понижающий коэффициент
Торцевая пластина	1,0
Нижний ряд болтов	0,83
2-ой ряд болтов от основания	0,885
3-ий ряд болтов от основания	0,86
Верхний ряд болтов	0,933

В этом примере соединение используется меньше в предельном состоянии при пожаре, чем при нормальной температуре. Это потому что снижение приложенной нагрузки в предельном состоянии при пожаре больше, чем снижение свойств материала компонентов соединения.

Таблица 13.5 – Несущая способность при повышенной температуре

Проверка несущей способности	Формула	Несущая способность (кН)
Несущая способность на сдвиг группы болтов ( $F_v \leq \sum P_s$ ) $\cdot k_b$	$\sum p_s \cdot A_s \cdot k_b$ (или $k_b \cdot 0.5 \cdot k_{bs} \cdot e_1 \cdot t_p \cdot p_{bs}$ ) для верхних рядов болтов	611
Простая несущая способность на сдвиг торцевой пластины ( $F_v/2 \leq P_v$ ) $\cdot k_{y\theta}$	Минимум ( $k_{y,\theta} \cdot 0.6 \cdot p_y \cdot A_v, 0.7 \cdot p_y \cdot K_e \cdot A_{vnet}$ )	270
Сдвиг блока ( $F_v/2 \leq P_r$ ) $\cdot k_{y\theta}$	$k_{y,\theta} \cdot 0.6 \cdot p_y \cdot t_p \cdot [L_v + K_e \cdot (L_t - k \cdot D_h)]$	320
Несущая способность ( $F_v/2 \leq P_{bs}$ ) $\cdot k_b$	$\sum k_b \cdot k_{bs} \cdot d \cdot t_p \cdot p_{bs}$	258
ПРИМЕЧАНИЕ $F_v$ – расчетная поперечная сила, которая равняется $V_{Ed,fi}$ из СН РК EN 1993.		

## 14 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

### 14.1 Введение

Расчетные методологии, присутствующие в конструктивных СН РК EN, служат основой к облегчению расчета конструкций при пожаре.

Методы вычисления обеспечивают более рациональное основание для инженерного проектирования конструкций при пожаре и предоставляют большую гибкость инженерам, архитекторам и конечным пользователям относительно расчета новых конструкций и восстановления/повторного использования существующих запасов строительных материалов и инвентаря.

Вообще, эта увеличенная гибкость достигнута за счет увеличенной конструкторской разработки. Строительное противопожарное проектирование охватывает широкий спектр подходов к природе и эффектам нагрузки и средствам обеспечения соответствующей несущей способности для необходимой продолжительности. С одной стороны есть уверенность в таблицах, основанных на упрощенной оценке эффектов пожара и нагрузок,

действующих на конструкцию во время пожара. В другом случае проектировщик может моделировать пожар, используя сложные вычислительные методы гидродинамики и анализировать все здание, используя нелинейный расчет с помощью конечно-элементного метода. Принятое проектное решение будет зависеть от особых обстоятельств проекта и требований заказчика и контролирующих органов. Необходимо рассмотреть финансовые вопросы принятия более сложного подхода к расчету конструкций при пожаре. Такие методы могут быть оправданы там, где требуются существенные сбережения в материальных или расширенных уровнях безопасности. Общая рекомендация состоит в том, чтобы использовать самый простой подход, соразмерный с требованиями для сооружения.

Минимальные требования огнестойкости основаны на рассмотрении безопасности для жизни людей в здании и пожарной службы. Другие проблемы, такие как защита собственности, защита окружающей среды и бизнеса не рассматриваются.

#### **14.2 Руководство по выбору соответствующего расчетного метода**

Иерархия с точки зрения сложности расчетных методов – сведенные в таблицу данные, за которыми следуют упрощенные методы вычисления, и далее следуют продвинутые методы вычисления. Для проектировщика табличный подход должен быть первой остановкой. Упрощенные методы вычисления являются подходящими для стальных и сталежелезобетонных зданий и зданий из железобетона, где измерения или охватывают требуемый, или не встречаются указанный период огнестойкости или, наконец, где реконструкция существующей конструкции приводит к новой категории огнестойкости. Методы вычисления могут использоваться, чтобы продемонстрировать работу при особых условиях и могут обеспечить существенные сбережения (например, в приложенной пассивной противопожарной защите к стальным конструкциям) при определенных обстоятельствах. Продвинутые методы вычисления (типично нелинейные модели конечного элемента) могут использоваться там, где конструкция очень сложна и где положения Национальных инструкций не применимы. Примеры таких конструкций включают спортивные стадионы, выставочные залы и здания аэропортов.

**Приложение А**  
(информационное)

**Дополнительные термины, определения, обозначения и сокращения,  
используемые при проектировании стальных конструкций с учетом возможного  
воздействия пожара**

**Таблица А.1 – Термины из СН РК EN 1991-1-2 и СН РК EN 1993-1-2**

Параметр/термин	Определение	Символ	Единицы
Общая модель пожара (advanced fire model)	Расчетная модель пожара, основанная на уравнениях баланса массы и энергии.	–	–
Значение коэффициента (приведенная толщина) составного сечения (box value of section factor)	Отношение между площадью нагреваемой поверхности воображаемого прямоугольника, ограничивающего составное сечение по контуру, и объемом стали.	$(A_m/V)_b$	$m^{-1}$
Углеродистая сталь (carbon steel)	Марки сталей в соответствии с СН РК EN1993-1-1, за исключением нержавеющей сталей.	–	–
Коэффициент полноты сгорания (combustion factor)	Коэффициент, показывающий полноту сгорания и находящийся в пределах от 1 (полное сгорание) до 0 (отсутствие горения)	m	–
Вычислительная газодинамическая модель (computational fluid dynamic model)	Модель пожара, основанная на численном решении дифференциальных уравнений в частных производных, позволяющая определить изменения термодинамических и аэродинамических параметров во всех точках пожарного отсека.	–	–
Угловой коэффициент облученности (configuration factor)	Коэффициент облученности для передачи тепла излучением от поверхности А к поверхности В, определяемый отношением энергии, полученной поверхностью В, к энергии, диффузно излученной поверхностью А.	Ф	–
Коэффициент теплоотдачи конвекцией (convective heat transfer coefficient)	Конвективный поток тепла к конструкции, отнесенный к разнице температур окружающей среды и поверхностью конструкции.	$\alpha_c$	Вт/м <sup>2</sup> К



**Таблица А.1 – Термины из СН РК EN 1991-1-2 и  
СН РК EN 1993-1-2 (продолжение)**

Параметр/термин	Определение	Символ	Единицы
Критическая температура конструкции из конструкционной стали (critical temperature of structural steel element)	Для заданного уровня нагружения – температура, при которой ожидается наступление предельного состояния конструкции из конструкционной стали в случае равномерного распределения температуры по площади сечения.	$\Theta_{a,cr}$	°C
Расчетный пожар (design fire)	Схема развития пожара, принятая при проектировании.	—	—
Расчетная удельная пожарная нагрузка (design fire load density)	Удельная пожарная нагрузка, принимаемая для определения теплового воздействия расчетного пожара с учетом возможных неопределенностей.	$q_{f,d}$ или $q_{t,d}$	МДж/м <sup>2</sup>
Расчетный сценарий пожара (design fire scenario)	Сценарий пожара, принятый для расчетного анализа для которого производится расчет.	—	—
Расчетный предел текучести (effective yield strength)	Значение напряжения для заданной температуры, при котором диаграмма деформирования стали переходит на площадку текучести.	$f_{y,\theta}$	Н/мм <sup>2</sup>
Степень черноты (emissivity)	Характеристика поглощающей способности поверхности, равная отношению между теплотой, поглощенной приведенной поверхностью и поверхностью абсолютно черного тела.	$\varepsilon$	—
Эквивалентная продолжительность пожара (equivalent time of fire exposure)	Продолжительность пожара, характеризуемого стандартным температурным режимом, в течение которого предполагается такое же тепловое воздействие в помещении, как при реальном пожаре.	$t_{e,d}$	минуты

**Таблица А.1 – Термины из СН РК EN 1991-1-2 и  
СН РК EN 1993-1-2(продолжение)**

Параметр/термин	Определение	Символ	Единицы
Температурный режим наружного пожара (external fire curve)	Номинальная температурно-временная зависимость, применяемая для внешних поверхностей наружных стен, которые могут подвергаться воздействию пожара с различных частей фасада, непосредственно из помещения с ожидаемым пожаром или из помещений, расположенных ниже/выше по отношению к рассматриваемой наружной стене.	—	—
Наружная конструкция (external member)	Конструкция, расположенная вне здания, которая может быть подвержена воздействию пожара через проемы в его ограждающих конструкциях.	—	—
Риск возникновения пожара (fire activation risk)	Параметр, учитывающий вероятность возникновения пожара и являющийся функцией площади пожарного отсека и назначения помещения.	—	—
Пожарная секция (отсек) (fire compartment)	Замкнутое пространство в здании, в пределах одного или нескольких этажей, выделенное ограждающими конструкциями, препятствующими распространению регламентируемого пожара за его пределы.	—	—
Пожарная нагрузка (fire load)	Сумма тепловой энергии, выделяемой при сгорании всех горючих веществ в определенном пространстве (конструктивные элементы и внутреннее оснащение зданий).	$Q_{fi,k}$	МДж
Удельная пожарная нагрузка (fire load density)	Пожарная нагрузка, отнесенная к единице площади пола $q_{fi}$ или к единице площади поверхности всех ограждений $q_t$ , включая проемы.	$q_f, q_t$	МДж/м <sup>2</sup>

**Таблица А.1 – Термины из СН РК EN 1991-1-2 и  
СН РК EN 1993-1-2(продолжение)**

Параметр/термин	Определение	Символ	Единицы
Огнезащитный материал (fire protection material)	Любые материалы либо их сочетания, примененные к конструктивному элементу с целью повышения его огнестойкости.	—	—
Огнестойкость (fire resistance)	Способность конструктивной системы, ее части или отдельной конструкции выполнять требуемые функции (несущую и/или ограждающую) в течение установленной продолжительности регламентируемого пожара при заданном уровне нагрузки.	R/E/I	минуты
Сценарий пожара (fire scenario)	Качественное описание протекания процесса пожара с указанием времени ключевых событий, которые характеризуют данный пожар и отличают его от других возможных. Сценарий обычно описывает процессы возгорания и развития пожара, стадии его полного развития и затухания во взаимосвязи с оснащением здания и системами, которые влияют на протекание пожара.	—	—
Противопожарная стена (firewall)	Стена между двумя частями здания (двумя зданиями), обладающая необходимой огнестойкостью и конструктивной устойчивостью, с учетом действия возможных горизонтальных нагрузок, в том числе при одностороннем обрушении примыкающих строительных конструкций.	—	—
Объемное воспламенение (flash-over)	Одновременное воспламенение всей пожарной нагрузки в помещении.	—	—
Развившийся пожар (fully developed fire)	Стадия полного участия всех горючих поверхностей в пожаре в пределах установленного пространства.	—	—

**Таблица А.1 – Термины из СН РК EN 1991-1-2 и  
СН РК EN 1993-1-2(продолжение)**

Параметр/термин	Определение	Символ	Единицы
Общий анализ конструктивной системы при пожаре (global structural analysis (for fire))	Анализ конструктивной системы в целом, полностью или частично подвергнутой воздействию пожара. Непрямые воздействия пожара учитываются для всей конструктивной системы.	—	—
Температурный режим пожара углеводородов (hydrocarbon fire curve)	Номинальная температурно-временная зависимость для оценки воздействий при пожаре углеводородного типа.	—	—
Непрямые воздействия пожара (indirect fire actions)	Усилия, вызванные температурным расширением.	Различны й	Различны й
Теплоизолирующая способность (insulation (I))	Способность ограждающей конструкции при одностороннем огневом воздействии ограничивать рост температуры не обогреваемой поверхности выше установленного уровня.	—	—
Целостность (integrity (E))	Способность ограждающей конструкции при одностороннем огневом воздействии предотвращать проникновение пламени и продуктов горения на не обогреваемую поверхность	—	—
Несущая способность (load bearing function (R))	Способность конструктивной системы или отдельной конструкции выдерживать при пожаре установленные воздействия в соответствии с заданными параметрами.	—	—
Локальный пожар (localized fire)	Пожар, охвативший ограниченную площадь пожарной нагрузки в помещении.	—	—
Отдельная конструкция (member)	Основной элемент конструктивной системы, который можно рассматривать отдельно с учетом граничных условий и схемы опирания (например, балка, колонна, а также сборные конструкции, такие как фермы и т. д.).	—	—

**Таблица А.1 – Термины из СН РК EN 1991-1-2 и  
СН РК EN 1993-1-2(продолжение)**

Параметр/термин	Определение	Символ	Единицы
Анализ отдельной конструкции при пожаре (member analysis (for fire))	Теплотехнический и статический расчеты конструкции, рассматриваемой отдельно с соответствующими граничными условиями и схемой опирания в условиях воздействия пожара. Непрямые воздействия пожара не рассматриваются, за исключением, вызванных температурными перепадами.	—	—
Результирующий тепловой поток (net heat flux)	Энергия, поглощенная конструкцией, отнесенная к единице площади.	$H_{net}$	Вт/м <sup>2</sup>
Расчет при нормальной температуре (normal temperature design)	Расчет конструкции при температуре окружающей среды согласно СН РК EN 1992 – СН РК EN 1996 или СН РК EN 1999.	—	—
Однозонная модель (one-zone model)	Модель пожара, основанная на использовании усредненной температуры в помещении.	—	—
Коэффициент проемности (opening factor)	Коэффициент, отражающий условия вентилирования помещения в зависимости от площади проемов в стенах, высоты проемов и общей площади ограждающих поверхностей.	0	м <sup>1/2</sup>
Часть конструктивной системы (part of structure)	Отдельная часть конструктивной системы с соответствующими граничными условиями и схемой опирания.	—	—
Мощность теплового потока (rate of heat release)	Теплота (энергия), высвобождаемая при сгорании веществ и материалов, в функции времени.	Q	Вт
Коэффициент сечения (приведенная толщина) (section factor)	Для стальных конструкций - отношение между площадью нагреваемой поверхности и объемом стали; для замкнутых конструкций – отношение между площадью внутренней поверхности нагреваемой конструкции и объемом стали.	$A_m/V$	м <sup>1/2</sup>

**Таблица А.1 – Термины из СН РК EN 1991-1-2 и  
СН РК EN 1993-1-2 (продолжение)**

Параметр/термин	Определение	Символ	Единицы
Ограждающая конструкция (separating element)	Несущая или ненесущая конструкция (стена), образующая часть ограждения пожарного отсека.	—	—
Ограждающая способность (separating function)	Способность ограждающей конструкции предотвращать распространение регламентируемого пожара или воспламенение от нагреваемой поверхности (включает целостность (E) и теплоизолирующую способность (I)).	—	—
Простая модель пожара (simple fire model)	Расчетный пожар, основанный на ограниченном числе принятых физических параметров.	—	—
Нержавеющая сталь (stainless steel)	Все марки сталей, приведенные в СН РК EN 1993-1-4.	—	—
Стандартная огнестойкость (standard fire resistance)	Способность конструктивной системы, ее части или обычно только отдельной конструкции, выполнять требуемую несущую и/или ограждающую функции, при регламентированном сочетании нагрузок, в течение установленного времени в условиях теплового воздействия, определяемого стандартным температурным режимом.	—	—
Стандартный температурный режим (standard temperature-time curves)	Номинальная температурно-временная зависимость, определенная в EN 13501-2, принятая для характеристики модели развившегося пожара в помещении.	—	—
Конструкции (structural members)	Несущие элементы конструктивной системы, включая связи.	—	—
Теплотехнический расчет (temperature analysis)	Методы определения нарастания температуры в конструкциях с учетом тепловых воздействий (тепловой поток), теплотехнических свойств материалов конструкции и, в случае необходимости, свойств защитных поверхностей.	—	—

**Таблица А.1 – Термины из СН РК EN 1991-1-2 и  
СН РК EN 1993-1-2(продолжение)**

Параметр/термин	Определение	Символ	Единицы
Тепловые воздействия (thermal actions)	Воздействия на конструктивную систему, описываемые с помощью модели теплового потока к конструкциям.	—	—
Двухзонная модель (two-zone model)	Модель пожара, основанная на определении различных зон в помещении: верхний уровень, нижний уровень, пламя и его выброс, окружающая среда и стены. Для верхнего уровня принимается равномерное распределение температуры.	—	—
Температурные режимы (temperature-time curves)	Зависимость температуры окружающей среды, поверхности конструкции, от времени. Различают: – номинальные: общепринятые зависимости, адаптированные для классификации и подтверждения огнестойкости (установлены: стандартный температурный режим, температурный режим наружного пожара и температурный режим пожара углеводородов); – параметрические: зависимости, определенные на базе моделей пожара и специальных физических параметров, определяющих условия в помещении при пожаре.	—	—

**Приложение Б**  
(информационное)

**Аналоги отечественных марок сталей**

Для выбора аналогов отечественных сталей с целью определения нормативных значений предела текучести и предела временного сопротивления допускается использование Таблицы Б.1.

**Таблица Б.1 – Аналоги отечественных марок сталей и сталей по стандартам EN**

Сталь по соответствующему стандарту EN		Отечественная сталь	
EN 10025-2-2004 (E)		Аналог по ГОСТ 27772-88	
Марка стали	Номер материала	Обозначение	Марка стали
S235JR	1.0038	C 235	Ст. 3 кл. 2; Ст. 3 кл. 2-1
S275JR	1.0044	C 275	Ст. 3 пс 6-2
S355JR	1.0045	C 345	12Г2С гр.-1
EN 10025-3-2004 (E)		Аналог по ГОСТ 19281	
Марка стали	Номер материала	Обозначение	Марка стали
S420N	1.8902	C 440	12Г2АФ, 18Г2АФПС, 15Г2СФ термоупрочненная
EN 10025-6-2004 (E)		Аналог по ГОСТ ТУ14-1-1-1772	
Марка стали	Номер материала	Обозначение	Марка стали
S550Q	1.8904	C 590	12Г2СМФ

**ПРИМЕЧАНИЕ 1** Представленные в Таблице Б.1 аналоги отечественных сталей допускается использовать при выборе нормативных значений предела текучести и временного сопротивления для стальных конструкций, воспринимающих статические и повторно статические нагрузки (см. Пункт НП.2.13 Национального Приложения к СН РК EN 1993-1-1).

**ПРИМЕЧАНИЕ 2** Расширение таблицы аналогов отечественных сталей с включением сталей классов С 245, С 255, С 345Т, С 345К, С 375, С 375Т, С 390, С 390Т, С 390К должно быть проведено после накопления достаточного объема результатов стандартных лабораторных сравнительных испытаний по соответствующим методикам.

**ПРИМЕЧАНИЕ 3** Оценка ударной вязкости отечественных сталей должна быть проведена для образцов с концентратором вида V (образцы по методике Шарпи). По результатам данных лабораторных испытаний будут откорректированы расчетные значения величин ударной вязкости для отечественных сталей с концентратором вида U, эксплуатируемых при вибрационных, динамических, ударных нагрузках и воздействиях, а также сталей, работающих в условиях, допускающих хрупкое разрушение стальных конструкций.



**УДК 624.014.24**

**МКС 91.010**

---

**Ключевые слова:** огнестойкость, расчет соединения, теплопроводность, удлинение,  
прочность      устойчивость

---

*Ресми басылым*

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЭКОНОМИКА МИНИСТРЛІГІНІҢ  
ҚҰРЫЛЫС, ТҮРҒЫН ҮЙ-КОММУНАЛДЫҚ ШАРУАШЫЛЫҚ ІСТЕРІ ЖӘНЕ  
ЖЕР РЕСУРСТАРЫН БАСҚАРУ КОМИТЕТІ

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ  
НОРМАТИВТІК-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ**

**ҚР НТҚ 03-01-2.1-2012  
БОЛАТ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ ӨРТКЕ  
ТӨЗІМДІЛІГІНІҢ ЕСЕБІМЕН ЖОБАЛАУ**

Басылымға жауаптылар: «ҚазҚСҒЗИ» АҚ

050046, Алматы қаласы, Солодовников көшесі, 21  
Тел./факс: +7 (727) 392-76-16 – қабылдау бөлмесі

*Издание официальное*

КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ СТРОИТЕЛЬСТВА, ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО  
ХОЗЯЙСТВА И УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ МИНИСТЕРСТВА  
НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

**НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**НТП РК 03-01-2.1-2012  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРА**

Ответственные за выпуск: АО «КазНИИСА»  
Набор и компьютерная верстка:

Подписано в печать \_\_\_\_\_ 2015 г. Формат 60 x 84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>

Гарнитура: Times New Roman. Усл. печ. л. 2,1

Тираж \_\_\_\_\_ экз. Заказ № \_\_\_\_\_

---

АО «КазНИИСА»

050046, г. Алматы, ул. Солодовникова, 21  
Тел./факс: +7 (727) 392 76 16 – приемная