

ОЦЕНКА СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ МИКРОРАЙОНА ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Докладчик: Сердюкова Екатерина Владимировна

Актуальность работы

- До недавнего времени инфраструктурные системы энергоснабжения, такие как системы электро-, тепло- и газоснабжения, в основном планировались и эксплуатировались независимо друг от друга, что приводило к недоиспользованию возможностей повышения их энергетической эффективности и надежности, а также сокращению эксплуатационных затрат.
- В последнее время развивается комплексный подход, рассматривающий совместное развитие и функционирование нескольких отдельных систем (электро- и теплоснабжения, электро-, тепло- и газоснабжения и др.) в составе интегрированных энергетических систем.
- Эффективность интегрированной энергетической системы значительно повышается по сравнению с независимым рассмотрением отдельных систем в результате комплексного использования различных видов энергии.

Актуальность работы

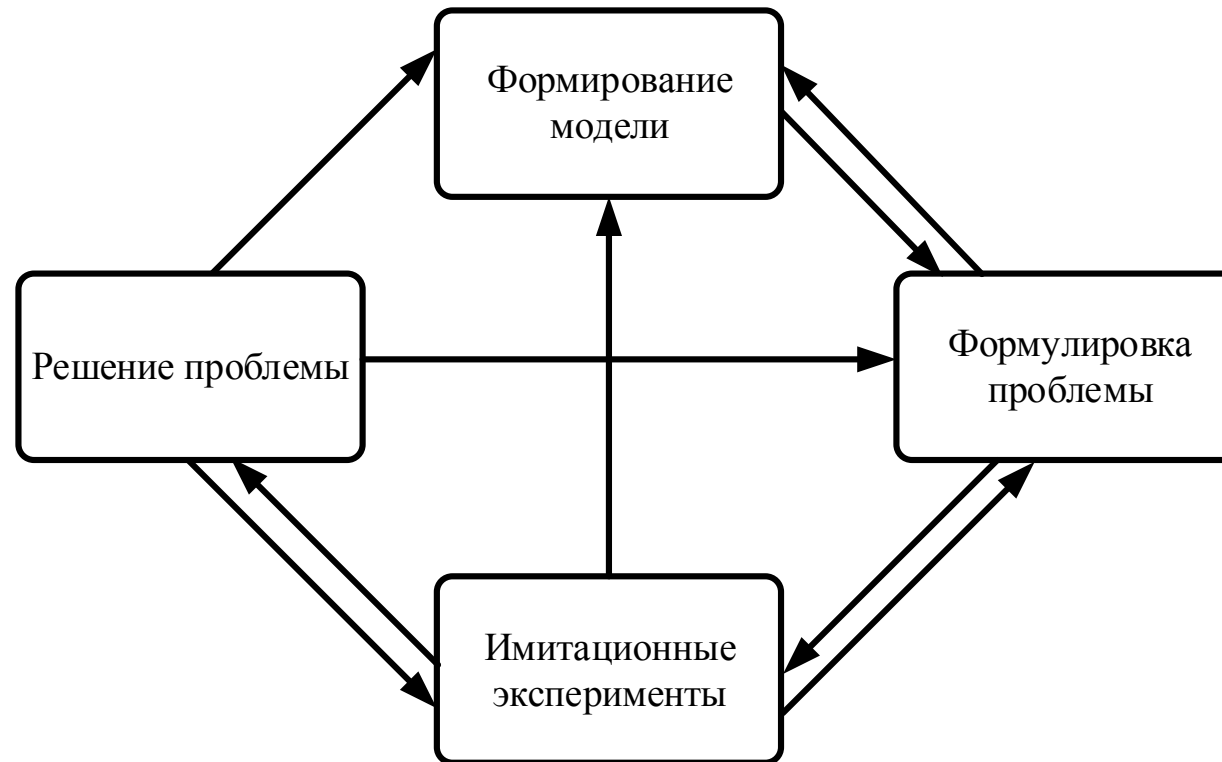
- Концепция энергетического хаба оказалась привлекательной ввиду его наглядности и простой интерпретации физических взаимосвязей составляющих интегрированной энергетической системы. Этот подход активно развивается наряду с традиционным математическим моделированием интегрированных энергетических систем.
- Учитывая сетевую структуру интегрированных энергетических систем, возникает необходимость использования соответствующего математического анализа, в качестве которого можно рассматривать потоковые методы.

Цель исследования

- Оценить структурную надежность интегрированной энергетической системы с использованием имитационного моделирования интегрированных энергетических систем.

Понятие имитационного моделирования

Имитационное моделирование - процесс конструирования модели реальной системы и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить (в рамках ограничений, накладываемых некоторым критерием или совокупностью критериев) различные стратегии, обеспечивающие функционирование или развитие данной системы.



Этапы имитационного моделирования

Условие допустимости потокораспределения

$$\forall Ck : k \in K \left| \sum_{i,j \in I} P_{ij}^k \geq P_H \right.$$

где K – число сечений; k – номер сечения, Ck – сечение; i, j – номера узлов, P_{ij} – пропускная способность связи; P_H – суммарная нагрузка сети, I – число узлов.

Структурная надежность схемы по критерию $n-1$

$$P_d^n = P_H - \left\{ \forall C_k^n : k^n \in K^n \left| \sum_{i,j \in I} P_{ij}^{kn} \right. \right\}, \quad n = \overline{1, N},$$

где P_d^n – дефицит мощности при отказе связи n , K – число сечений, N – число связей, I – число узлов

Суммарные показатели структурной надежности по критерию $n-1$.

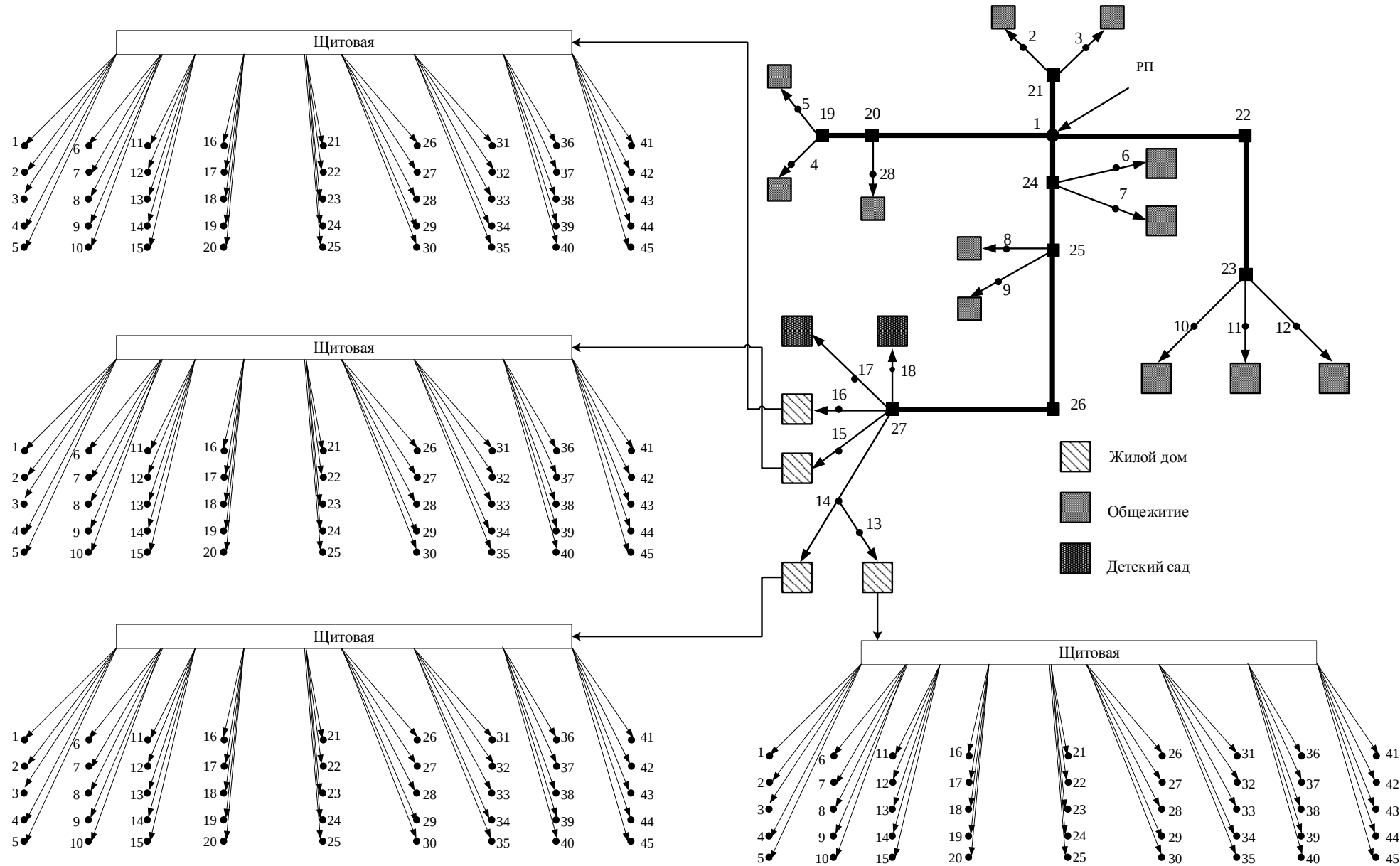
Суммарный дефицит мощности. Риск отказа системы.

$$P_d = \sum_{n=1}^N P_d^n$$

$$R = \sum_{n=1}^N \omega_i \cdot \sum_{n=1}^N P_d^n$$

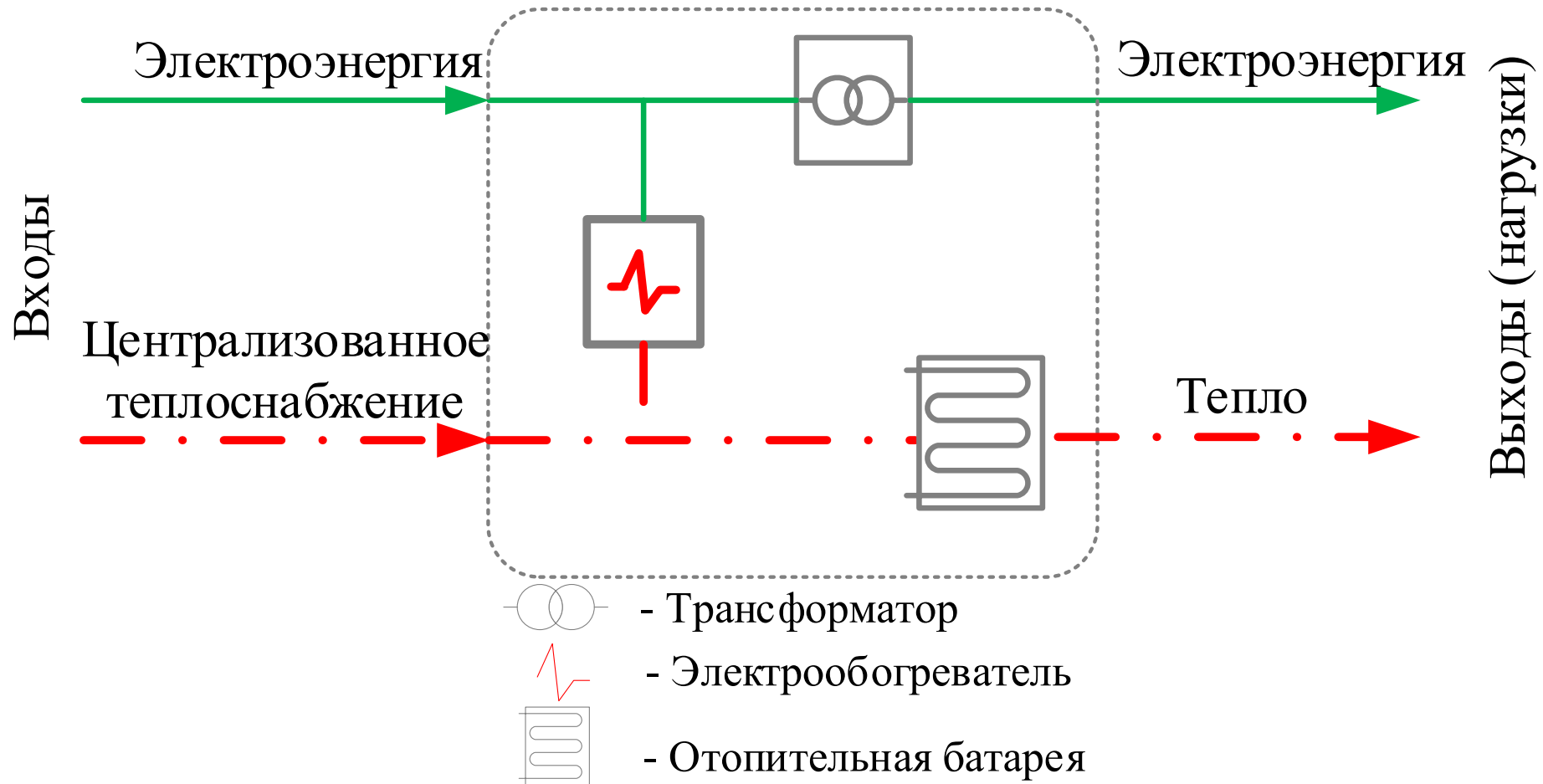
R – риск отказа связей системы

Объект исследования

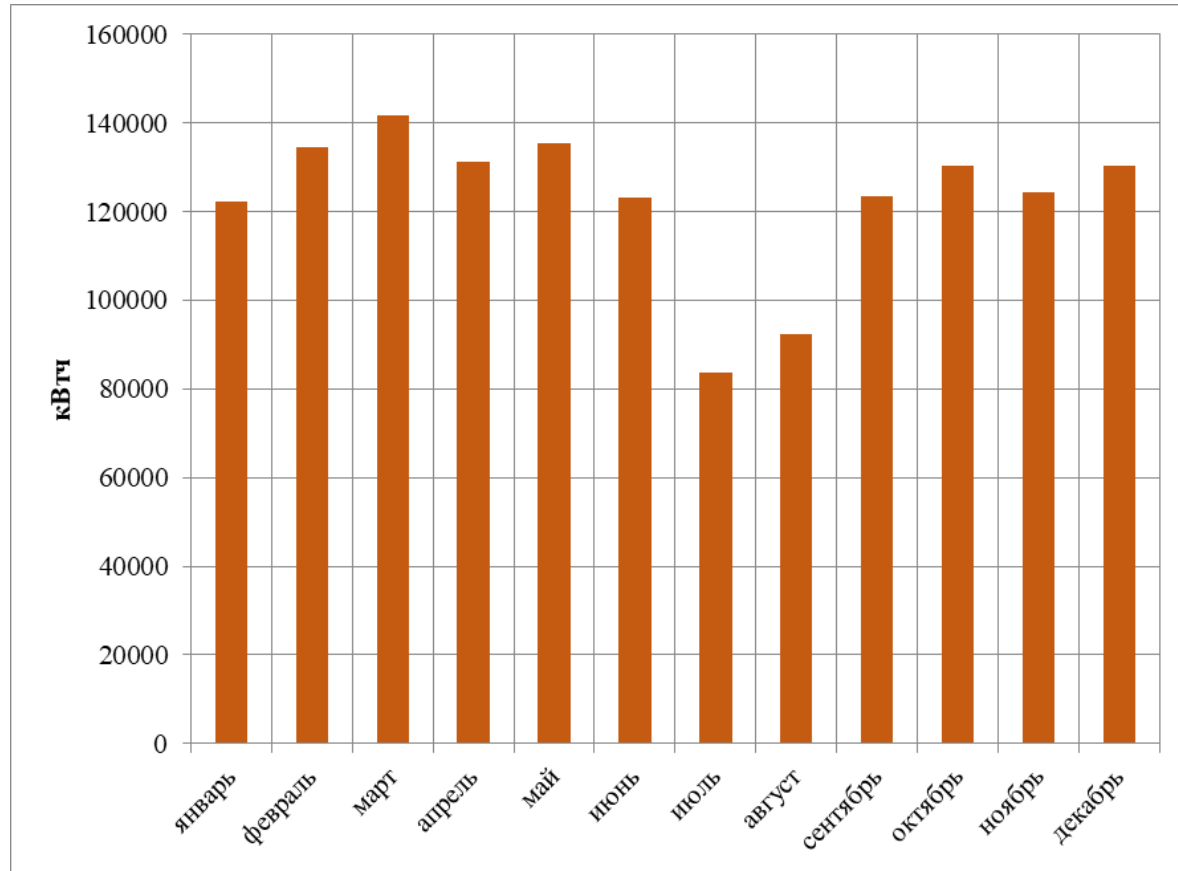


Электрическая схема системы электроснабжения микрорайона

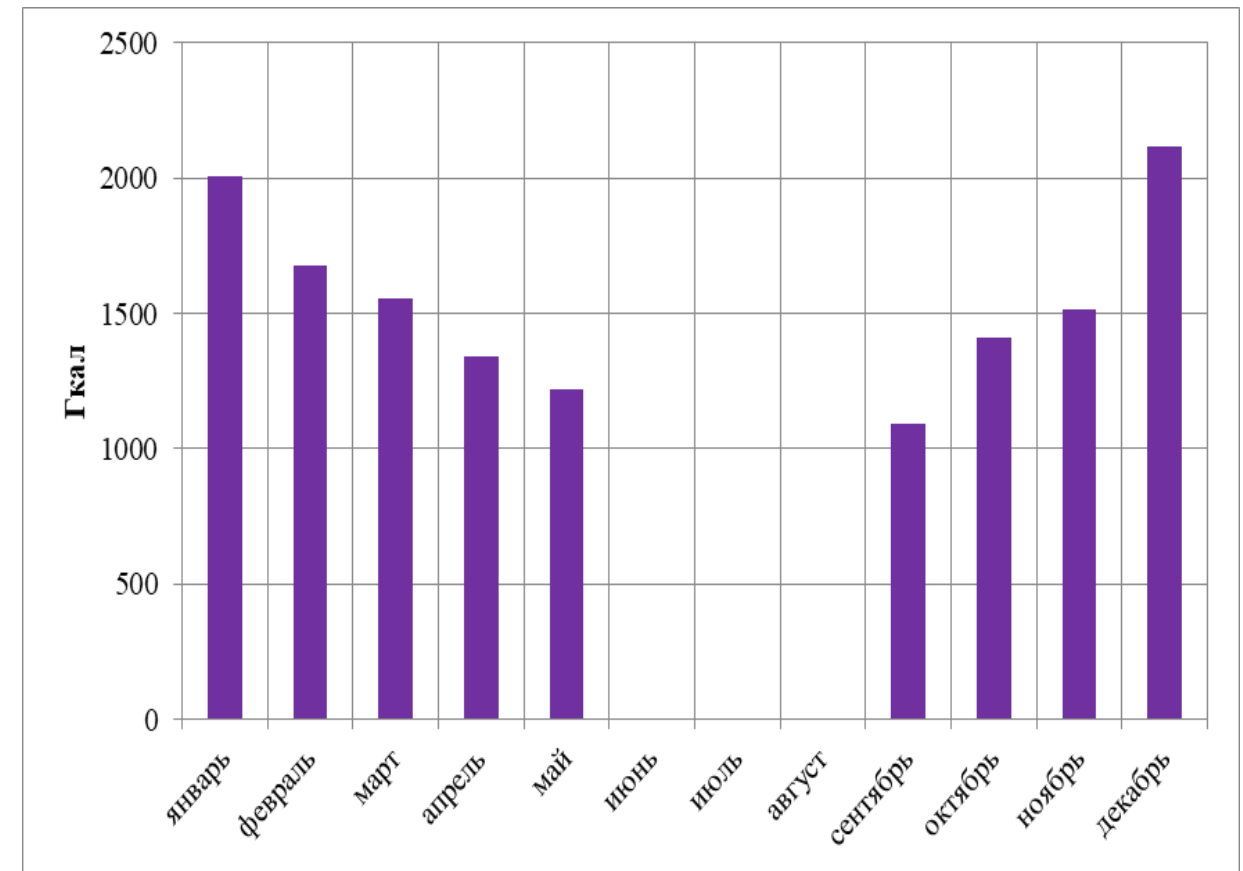
Энергетический хаб потребителя



Графики электро- и теплотребления



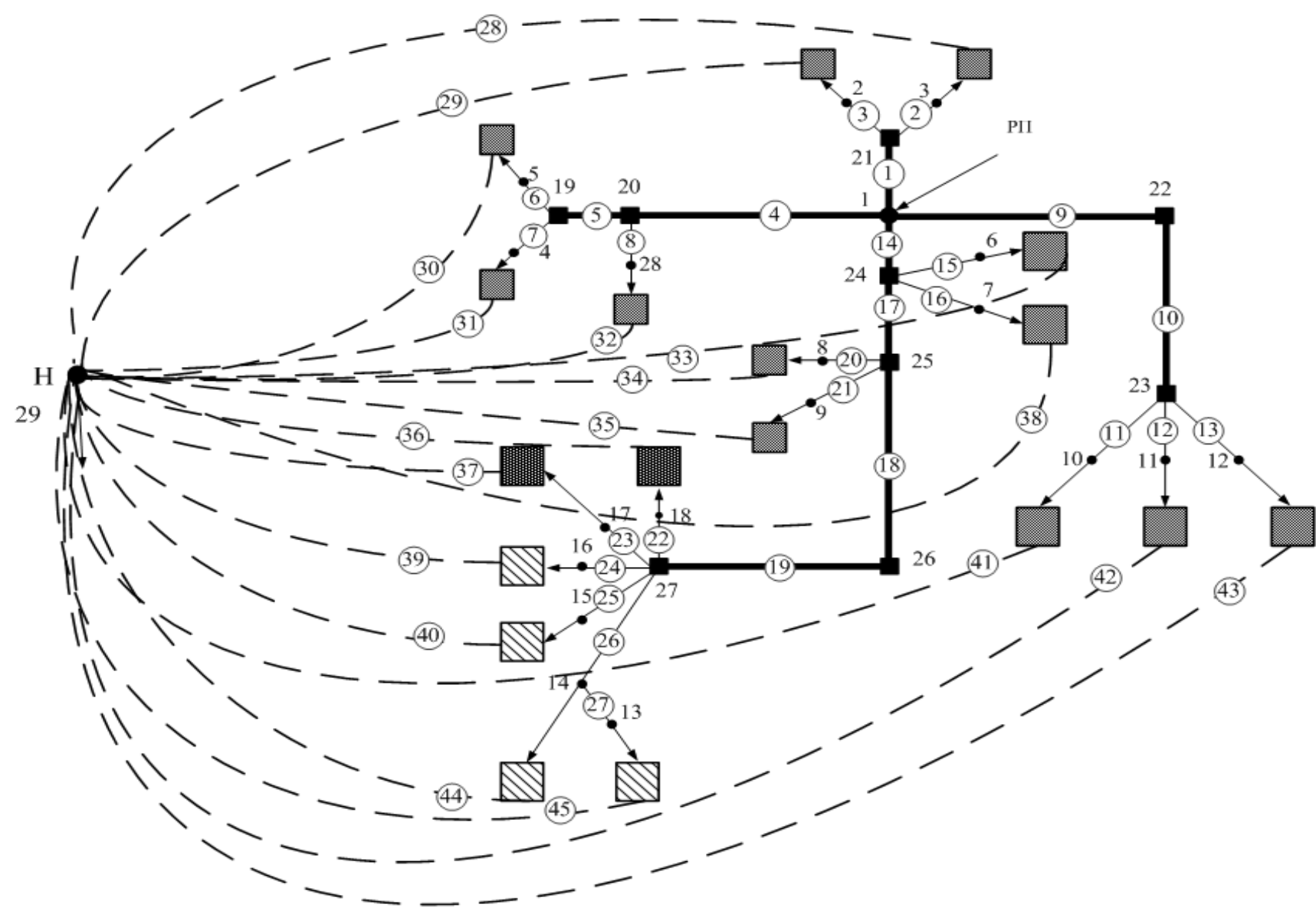
Электропотребление 9 общежитий



Теплопотребление 9 общежитий

Оценка надежности радиальной электрической сети по критерию $n-1$ методом анализа путей и сечений

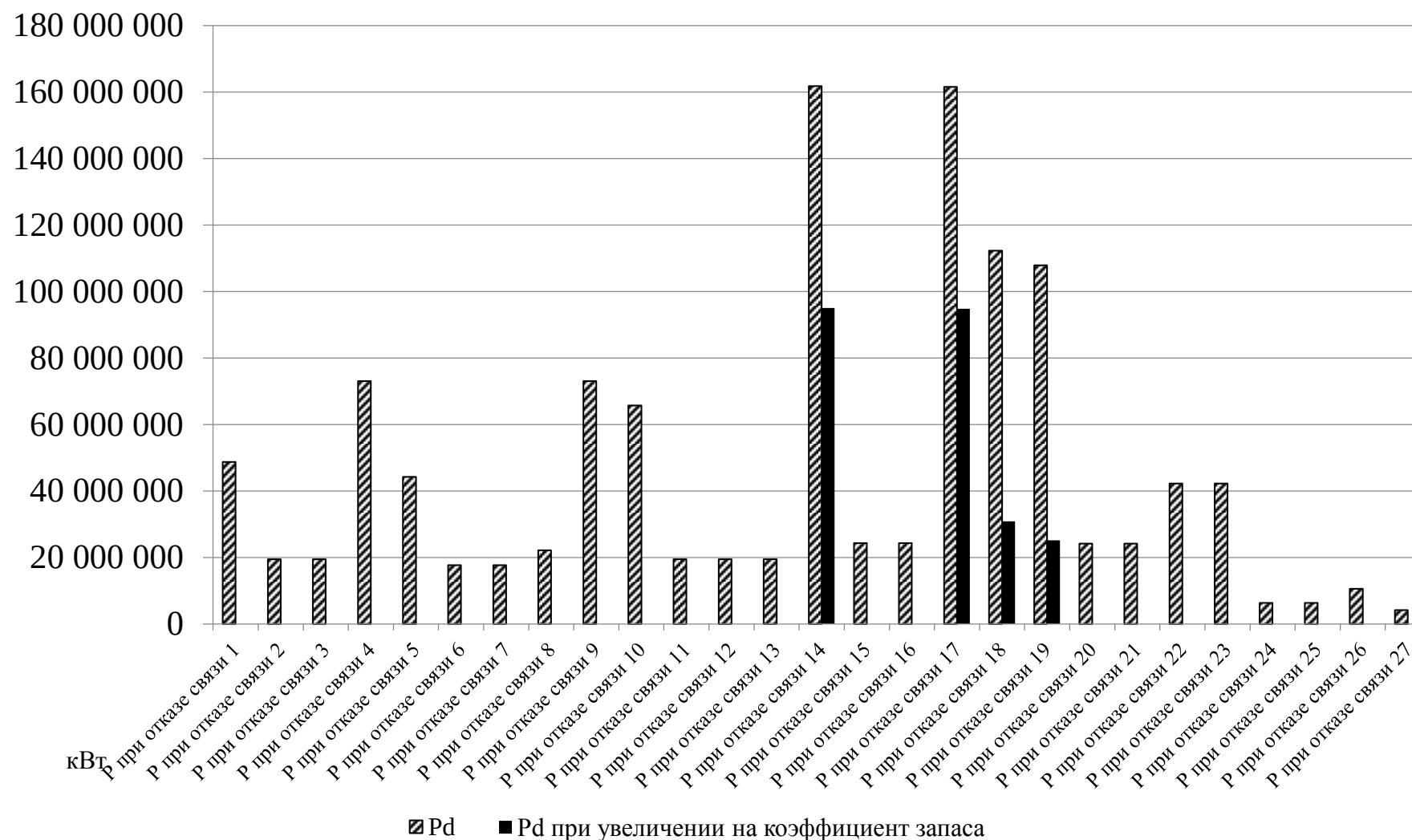
Расчетная электрическая схема системы электроснабжения микрорайона



Оценка дефицитов мощности микрорайона

442 750 сечений

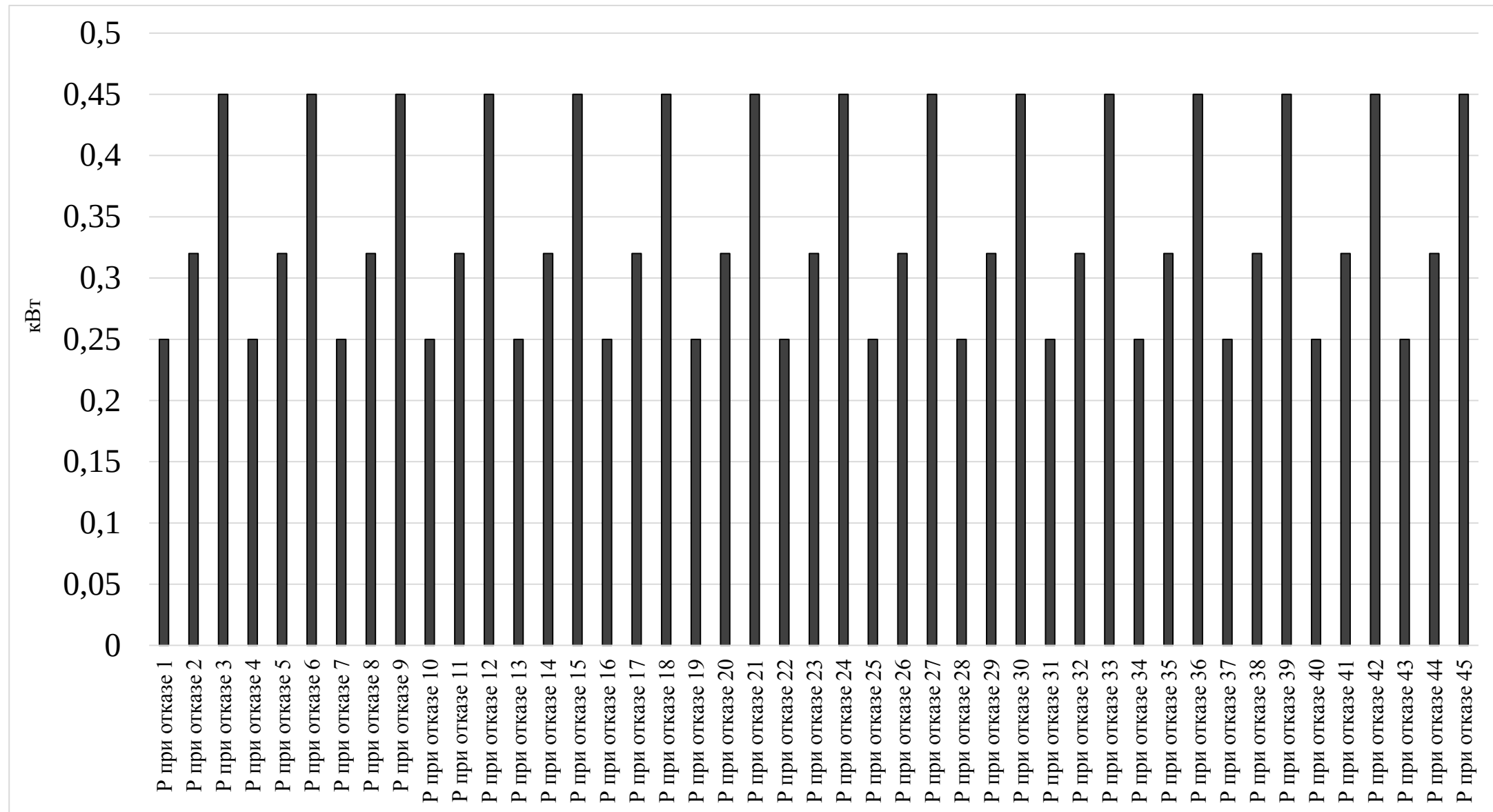
Самые загруженные связи – 14, 17, 18, 19



Дефициты мощности из-за недостатка пропускных способностей сечений при оценке надежности

Оценка дефицитов мощности жилых домов

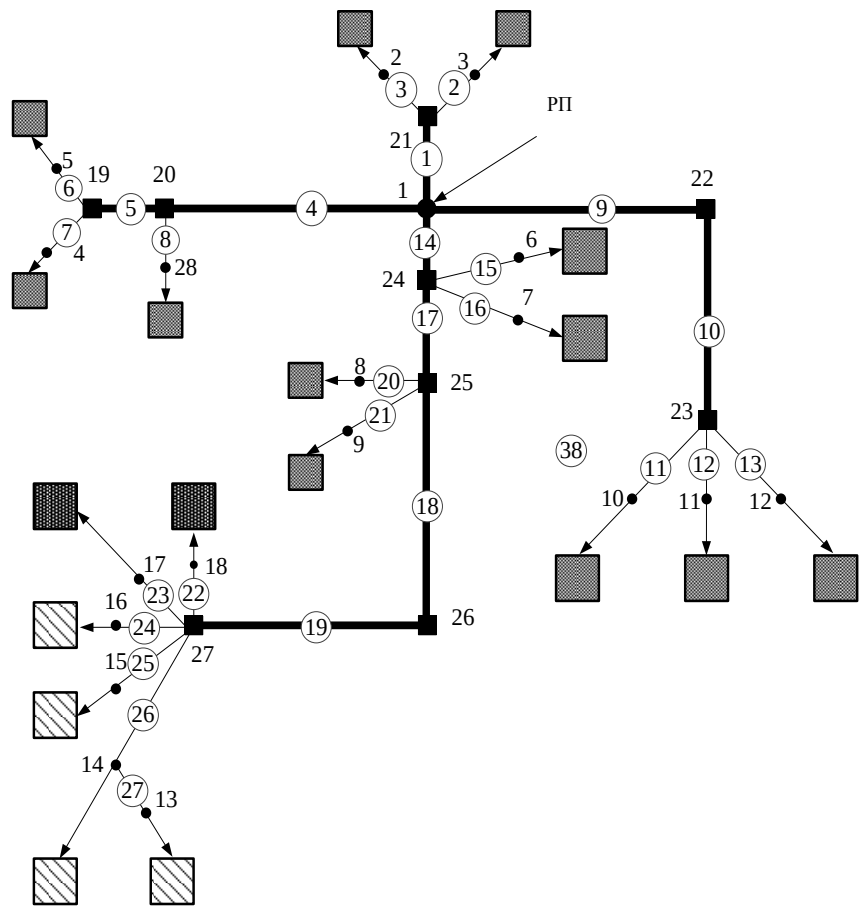
Суммарная нагрузка жилых домов – 15,3 кВт



Дефициты мощности жилого дома радиальной схемы микрорайона по критерию $n-1$

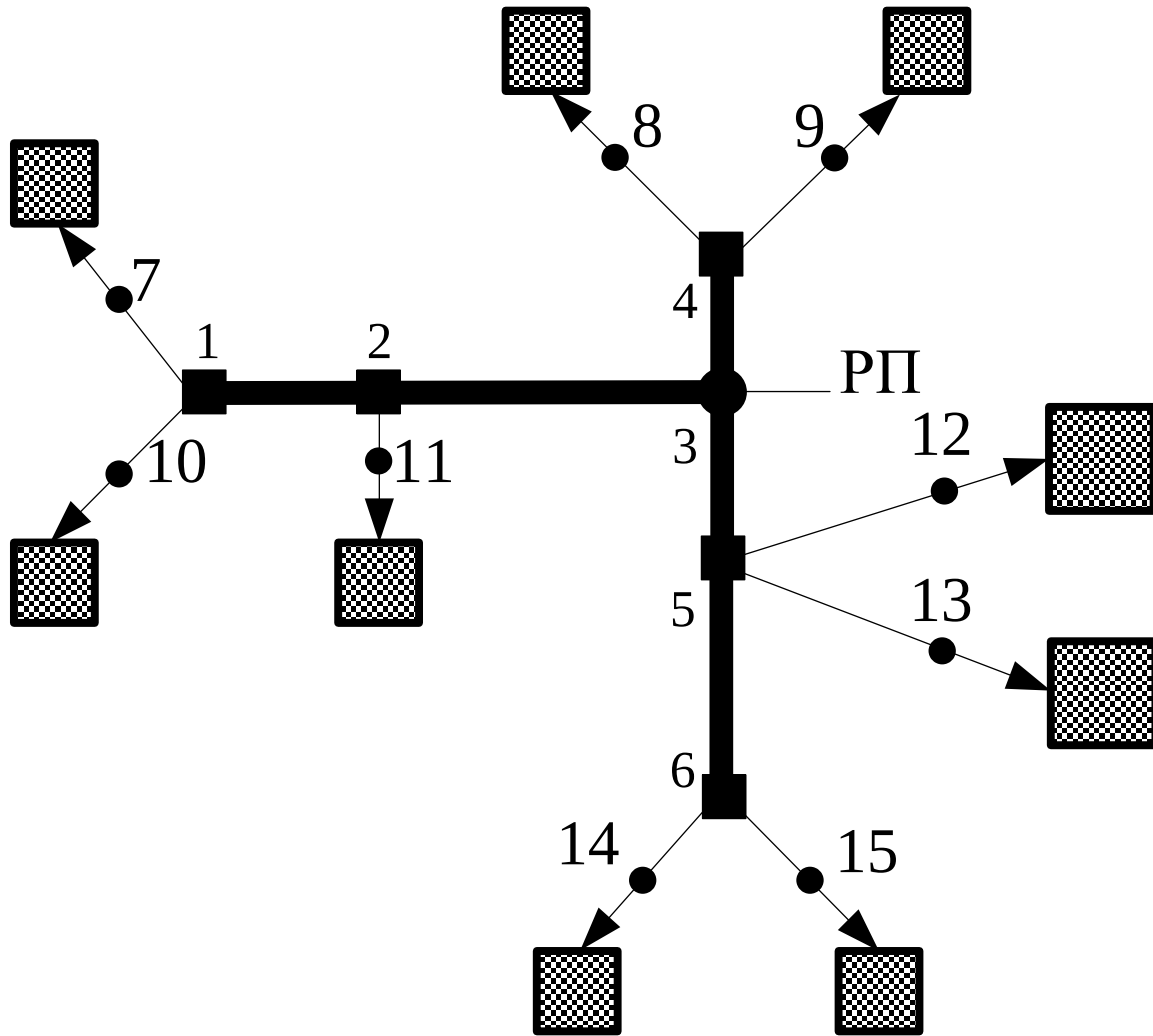
Оценка рисков дефицитов мощности

Суммарная нагрузка жилых домов – 15,3 кВт

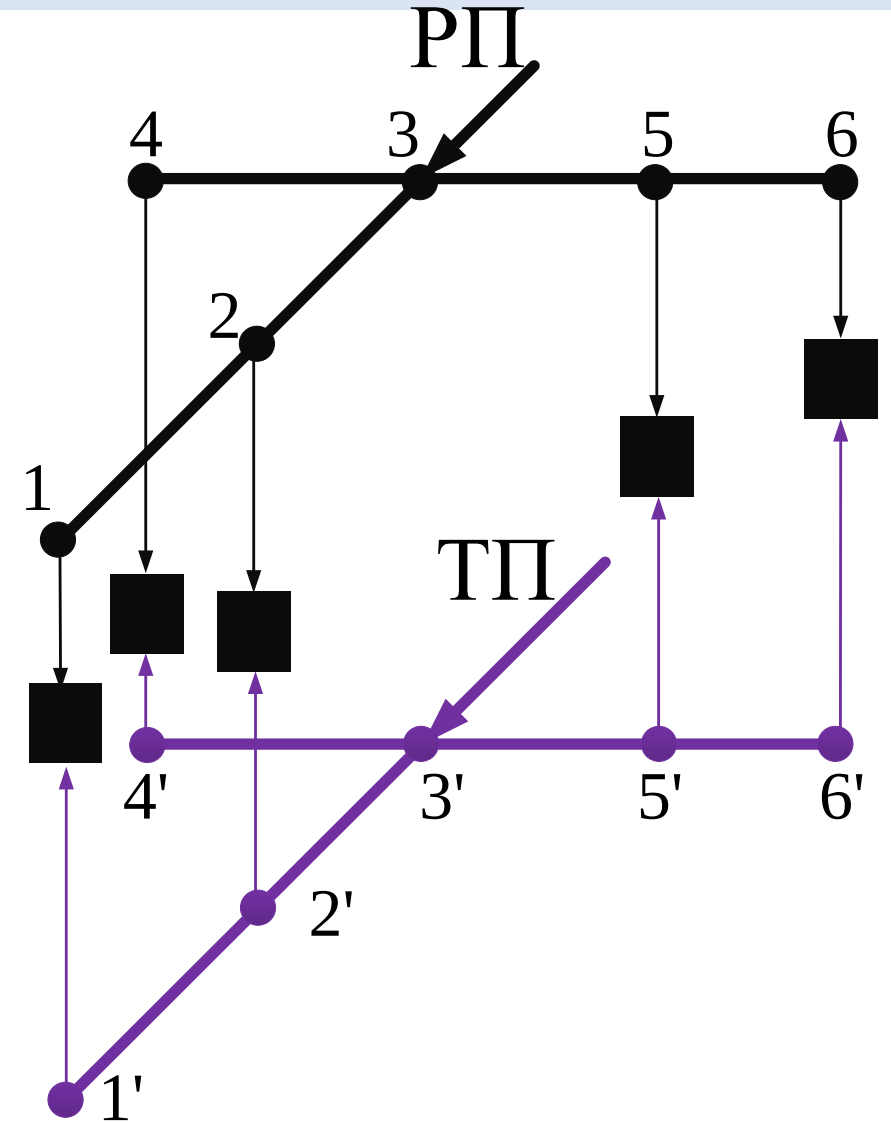


Номинальное напряжение	Номера узлов	Номера связей	Расстояние, м	Расстояние, км	ω 1\100 км год	$\Sigma\omega$ ветвей	R отказов
6 кВ	1-21	1	50	0,05	0,000038	0,000038	1850,695
0,4 кВ	3-21	2	95	0,095	0,0002375	0,0002625	4626,738
	2-21	3	10	0,01	0,000025		487,025
6 кВ	1-20	4	200	0,2	0,000152	0,0001824	11104,17
	19-20	5	40	0,04	0,0000304		1345,96
0,4 кВ	5-19	6	20	0,02	0,000005	0,0003125	885,5
	4-19	7	75	0,075	0,0001875		3320,625
	20-28	8	30	0,03	0,0000075		1660,313
6 кВ	1-22	9	400	0,4	0,000304	0,000456	22208,34
	22-23	10	200	0,2	0,000152		9993,753
0,4 кВ	10-23	11	60	0,06	0,00015	0,00055	2922,15
	11-23	12	60	0,06	0,00015		2922,15
	12-23	13	100	0,1	0,00025		4870,25
6 кВ	1-24	14	120	0,12	0,0000912	0,0000912	14753,06
0,4 кВ	6-24	15	30	0,03	0,0000075	0,0004	1824,075
	7-24	16	130	0,13	0,000325		7904,325
6 кВ	24-25	17	90	0,09	0,0000684	0,0002508	11046,74
	25-26	18	140	0,14	0,0001064		11947,44
	26-27	19	100	0,1	0,000076		8199,488
0,4 кВ	8-25	20	40	0,04	0,0001	0,0016125	2420

Объект исследования



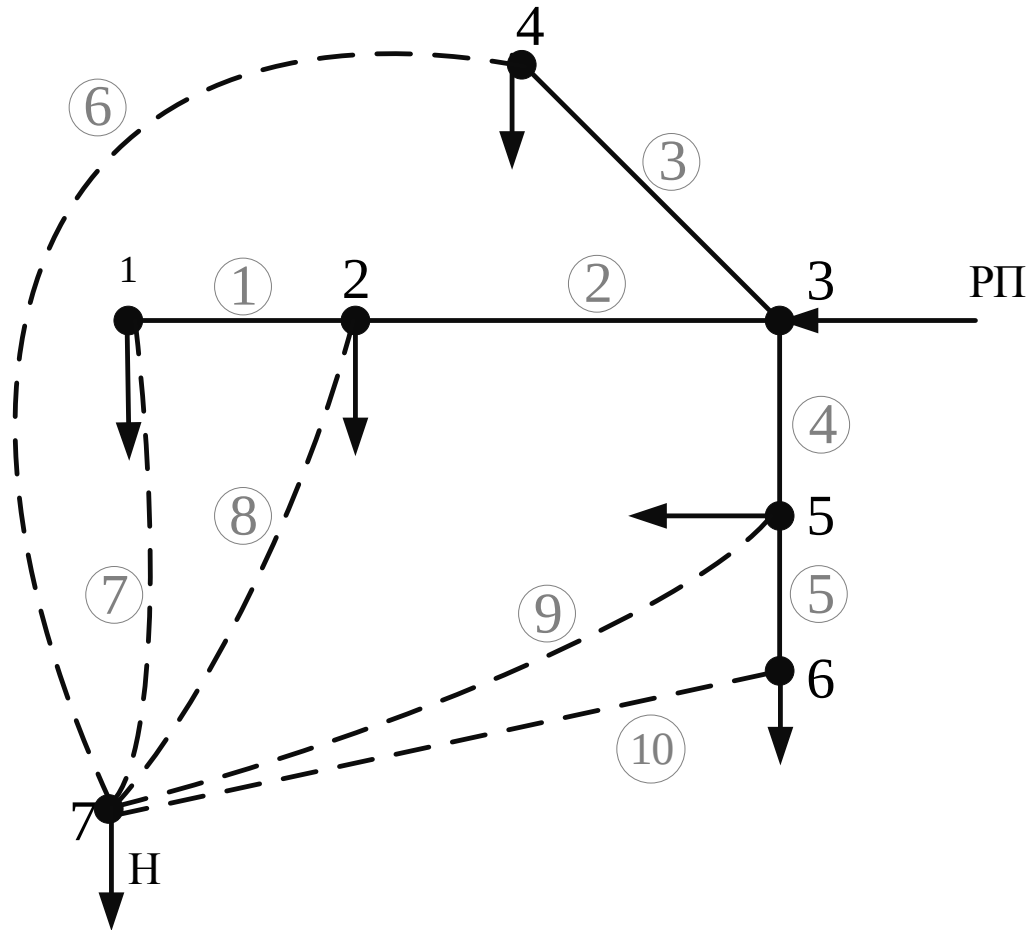
Электрическая схема системы электроснабжения общежитий



Интегрированная система электро- и теплоснабжения блока из 9 общежитий

Оценка существования режима в интегрированной системе электро- и теплоснабжения

Расчетная электрическая схема кампуса и матрица путей



Расчётная электрическая схема кампуса

Номер связи	(1)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(9)	(10)
Номер узлов	1-2	2-3	3-4	3-5	5-6	4-7	1-7	2-7	6-7	5-7
$\Pi 1$	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
$\Pi 2$	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
$\Pi 3$	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
$\Pi 4$	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
$\Pi 5$	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1

Матрица путей

Матрица сечений

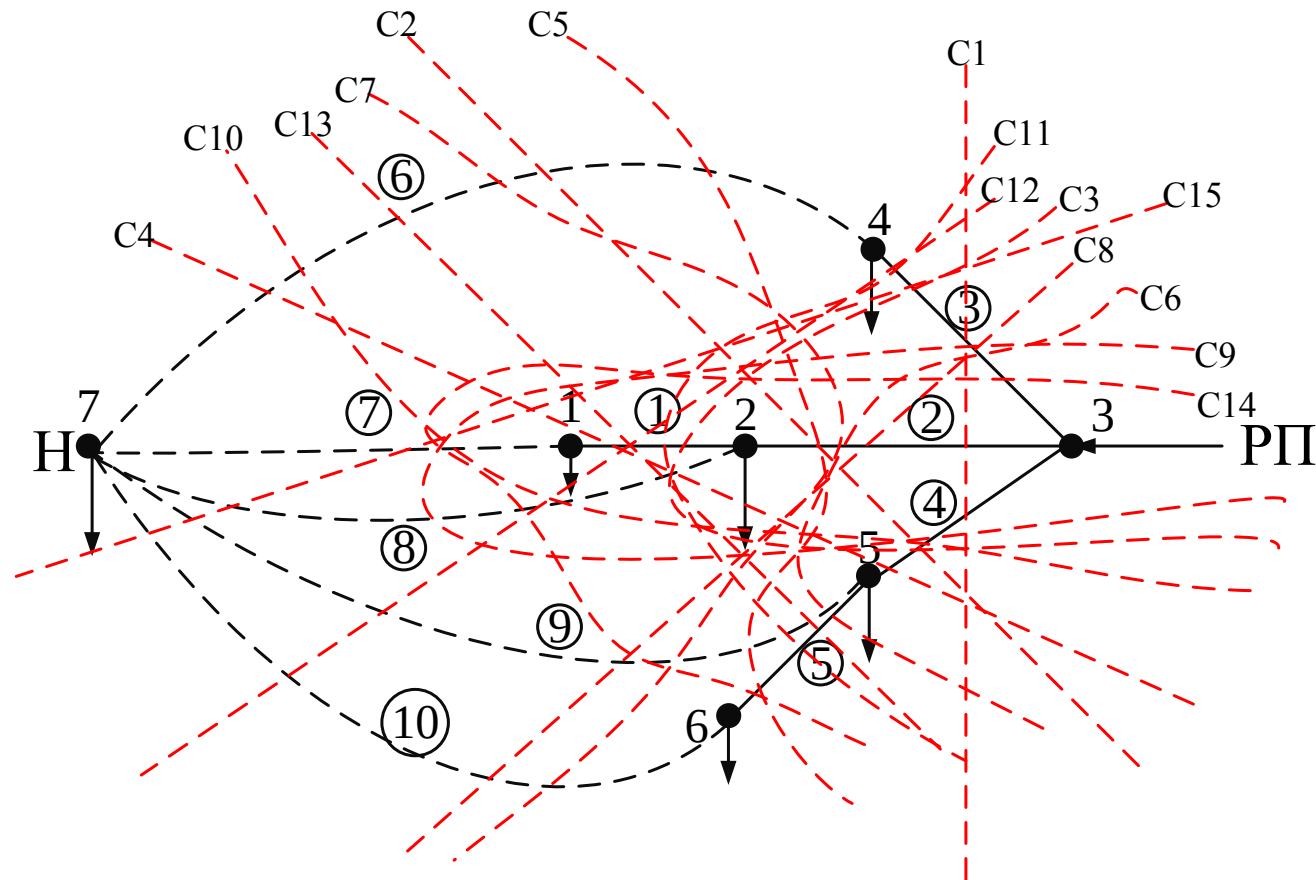
Номер сечения	Номер связей
C1	②, ③, ④
C2	②, ④, ⑥
C3	①, ③, ④, ⑧
C4	①, ④, ⑥, ⑧
C5	②, ⑤, ⑥, ⑨
C6	②, ③, ⑤, ⑨
C7	②, ⑥, ⑨, ⑩
C8	②, ③, ⑨, ⑩
C9	③, ④, ⑦, ⑧
C10	④, ⑥, ⑦, ⑧
C11	①, ③, ⑤, ⑧, ⑨
C12	①, ③, ⑧, ⑨, ⑩
C13	①, ⑤, ⑥, ⑧, ⑨
C14	③, ⑤, ⑦, ⑧, ⑨
C15	③, ⑦, ⑧, ⑨, ⑩

Номера связей, входящие в сечения

Номер связи	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
Номера узлов	1-2	2-3	3-4	3-5	5-6	4-7	1-7	2-7	6-7	5-7
C1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
C2	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
C3	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
C4	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
C5	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
C6	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0
C7	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1
C8	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
C9	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
C10	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
C11	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
C12	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1
C13	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0
C14	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0
C15	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1

Матрица сечений

Пропускные способности сечений



Сечения на электрической схеме

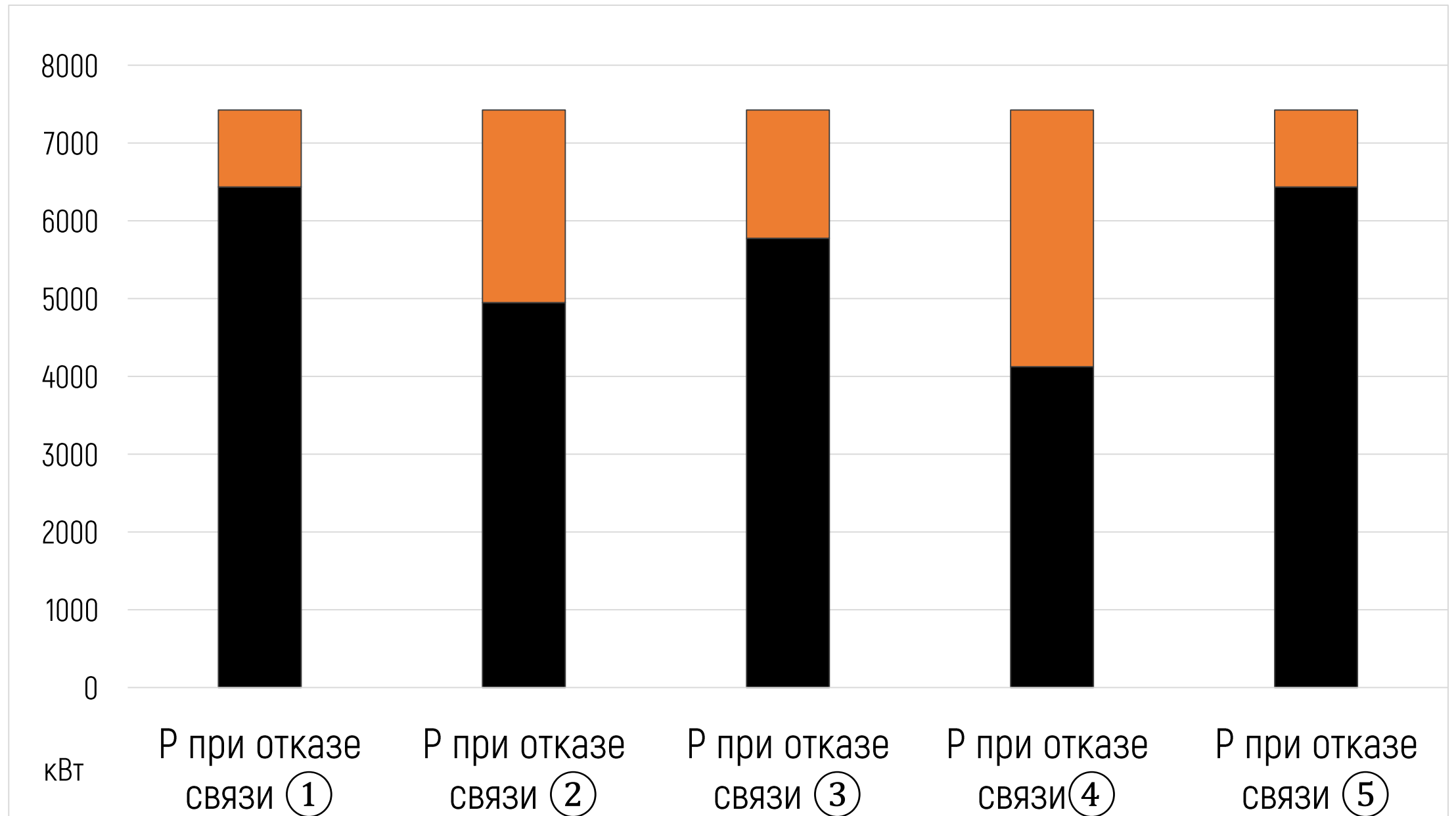
$$P_H = 110 + 110 + 55 + 110 + 110 = 495 \text{ кВт.}$$

Номер связи	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
Номера узлов	1-2	2-3	3-4	3-5	5-6	4-7	1-7	2-7	6-7	5-7
C1	0	165	110	220	0	0	0	0	0	0
C2	0	165	0	220	0	110	0	0	0	0
C3	110	0	110	220	0	0	0	55	0	0
C4	110	0	0	220	0	110	0	55	0	0
C5	0	165	0	0	110	110	0	0	110	0
C6	0	165	110	0	110	0	0	0	110	0
C7	0	165	0	0	0	110	0	0	110	110
C8	0	165	110	0	0	0	0	0	110	110
C9	0	0	110	220	0	0	110	55	0	0
C10	0	0	0	220	0	110	110	55	0	0
C11	110	0	110	0	110	0	0	55	110	0
C12	110	0	110	0	0	0	0	55	110	110
C13	110	0	0	0	110	110	0	55	110	0
C14	0	0	110	0	110	0	110	55	110	0
C15	0	0	110	0	0	0	110	55	110	110

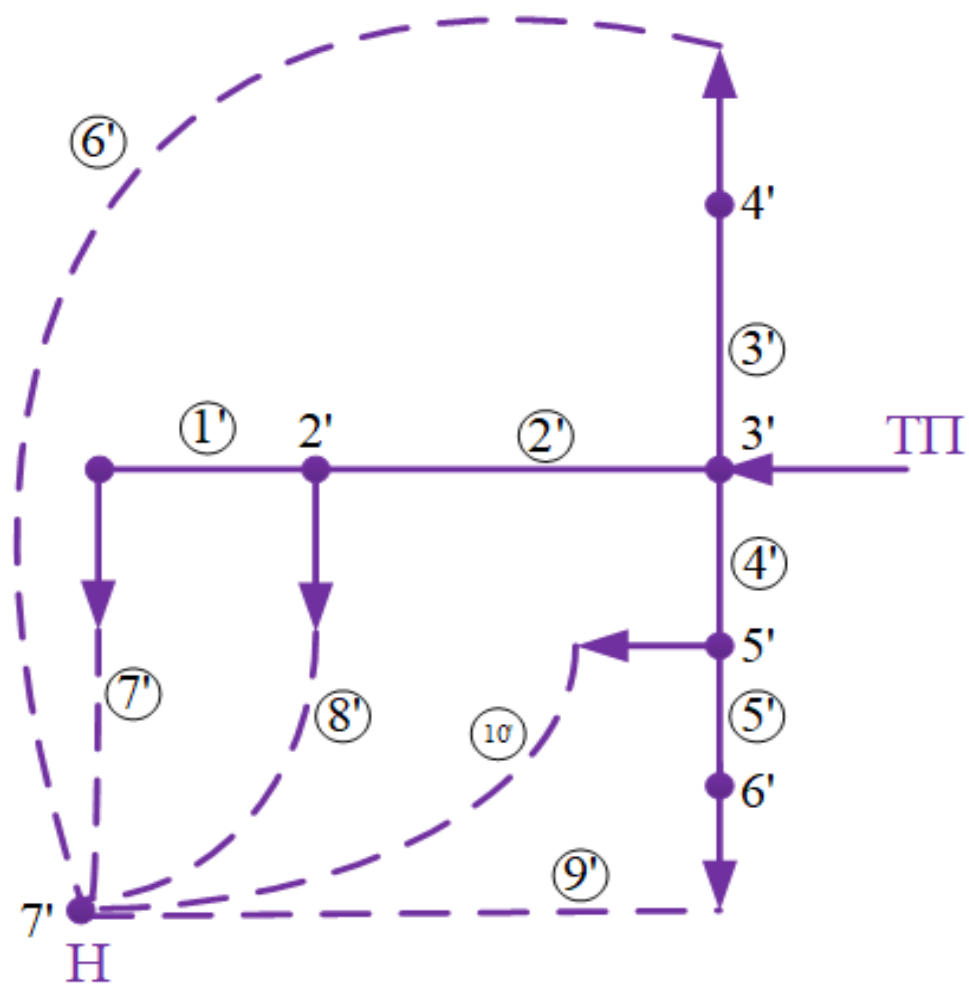
Матрица пропускных способностей связей

Исследование структурной надежности интегрированной системы электро- и теплоснабжения по критерию $n-1$

Пропускная способность сечений при оценке надежности по критерию $n-1$ в электрической сети



Расчетная тепловая схема кампуса

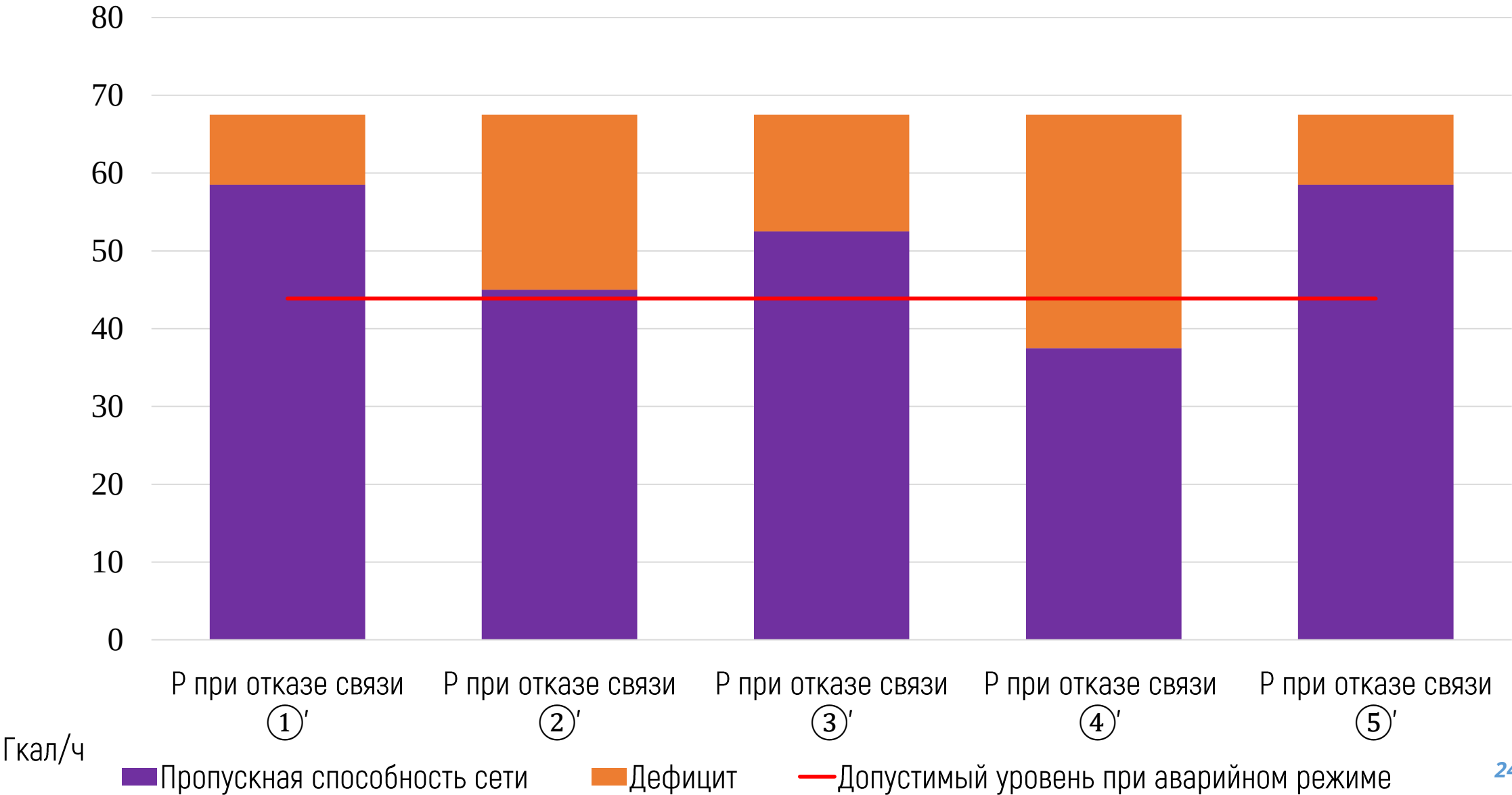


Расчетная тепловая схема кампуса

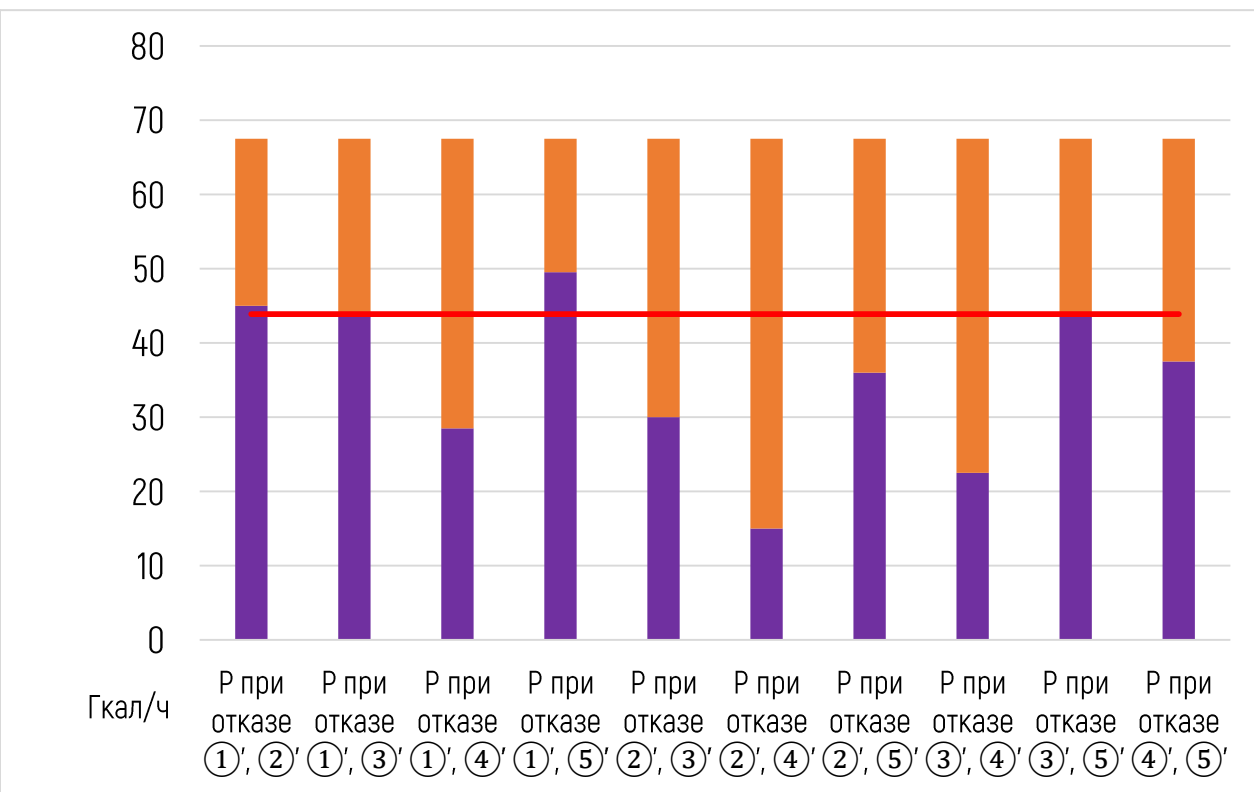
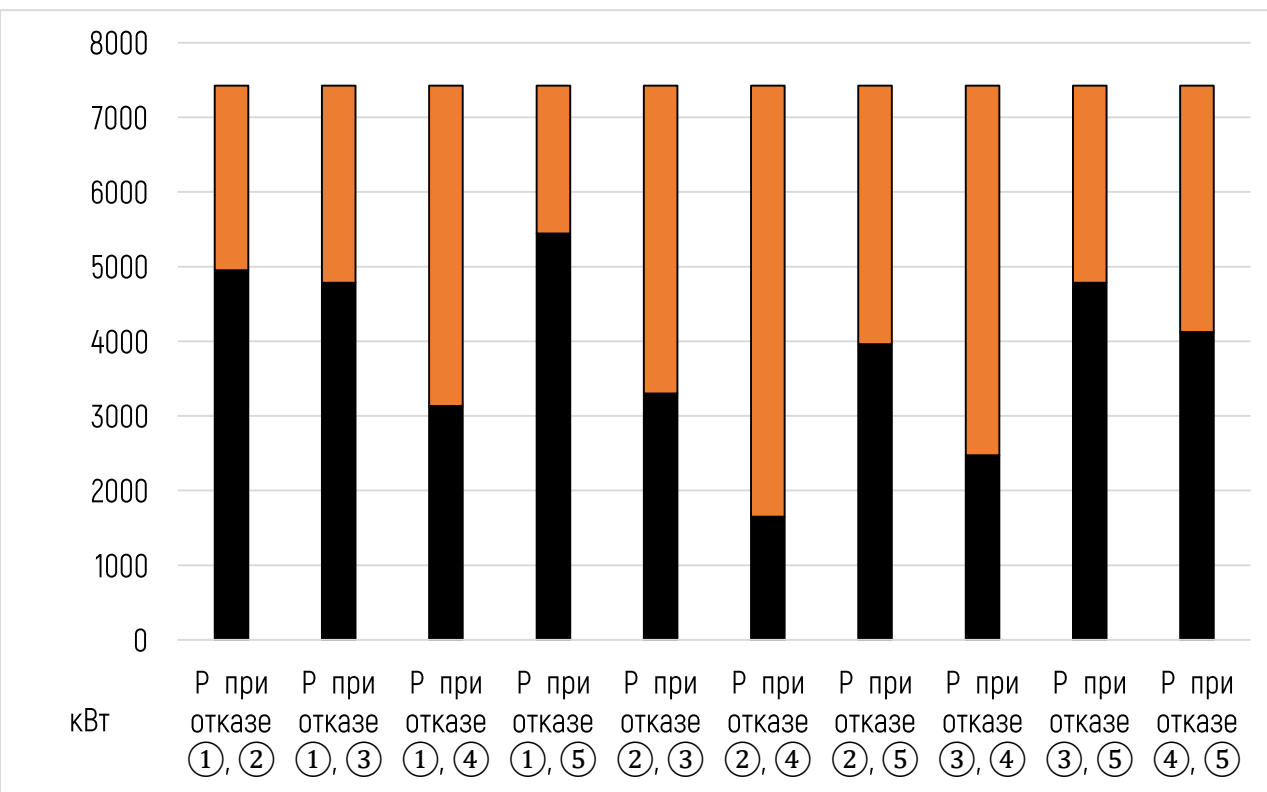
Номер связи Номера узлов	①'	②'	③'	④'	⑤'	⑥'	⑦'	⑧'	⑨'	⑩'
	1'-2'	2'-3'	3'-4'	3'-5'	5'-6'	4'-7'	1'-7'	2'-7'	6'-7'	5'-7'
$C1'$	0	1,5	1	2	0	0	0	0	0	0
$C2'$	0	1,5	0	2	0	1	0	0	0	0
$C3'$	1	0	1	2	0	0	0	0,5	0	0
$C4'$	1	0	0	2	0	1	0	0,5	0	0
$C5'$	0	1,5	0	0	1	1	0	0	1	0
$C6'$	0	1,5	1	0	1	0	0	0	1	0
$C7'$	0	1,5	0	0	0	1	0	0	1	1
$C8'$	0	1,5	1	0	0	0	0	0	1	1
$C9'$	0	0	1	2	0	0	1	0,5	0	0
$C10'$	0	0	0	2	0	1	1	0,5	0	0
$C11'$	1	0	1	0	1	0	0	0,5	1	0
$C12'$	1	0	1	0	0	0	0	0,5	1	1
$C13'$	1	0	0	0	1	1	0	0,5	1	0
$C14'$	0	0	1	0	1	0	1	0,5	1	0
$C15'$	0	0	1	0	0	0	1	0,5	1	1

Матрица пропускных способностей связей

Пропускная способность сечений при оценке надежности по критерию *n-1* в тепловой сети



Пропускная способность сечений при оценке структурной надежности по критерию n-2 электрической и тепловой схем



Пропускная способность связей электрической сети и потоки по связям

Номера связей	3 – 4	2 – 3	3 – 5	1 – 2	5 – 6
Пропускная способность, кВт	235	235	235	235	235
Загрузка связей, кВт	110	165	220	110	110

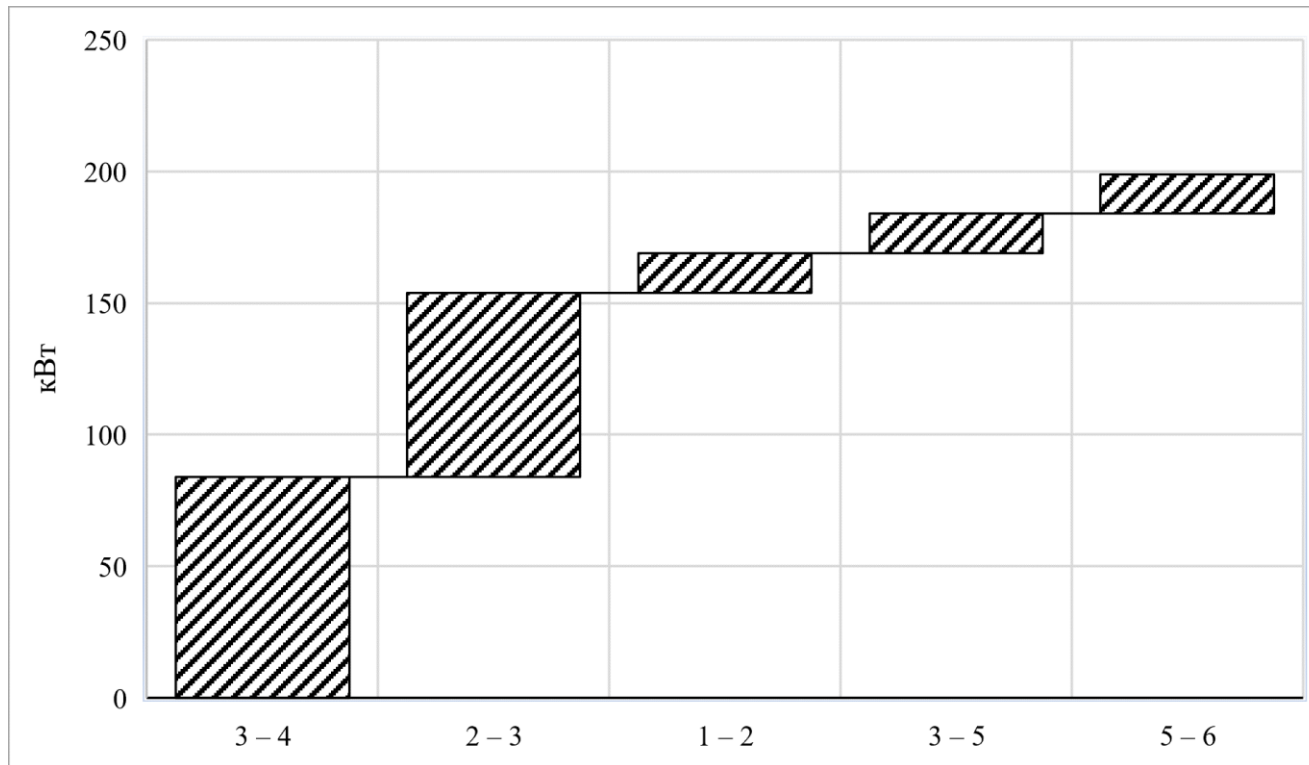
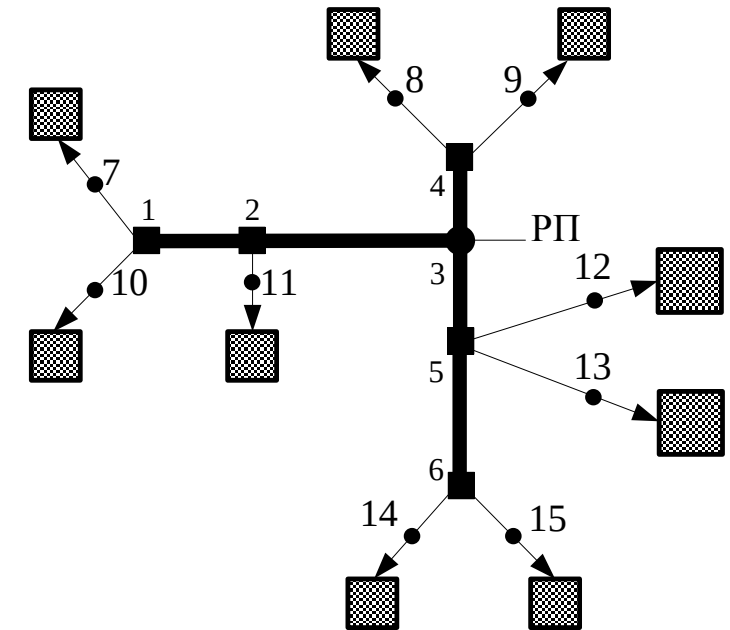


Иллюстрация сходимости процесса оптимизации



Электрическая схема системы электроснабжения 9 общежитий

Заключение

- Произведена оценка надежности интегрированной энергетической системы на основе критерия $n-1$ и $n-2$ для схемы энергоснабжения с возможностью резервирования. Выполнено исследование оптимизационной задачи по выявлению дополнительных возможностей для преобразования энергии.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Сердюкова Екатерина Владимировна