

- [Перейти на содержание учебно-методического комплекса дисциплины](#) ▪

## ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ПО ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЮ

Современная электроэнергетика России активно переходит к цифровым технологиям управления. В рамках концепции «цифровой энергетики» внедряются интеллектуальные системы управления, цифровые подстанции и автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ). Эти системы непрерывно генерируют большие массивы данных об электропотреблении, которые становятся ключевым ресурсом для управления региональными электротехническими комплексами (РЭК).

Региональный электротехнический комплекс – ограниченная в пространстве и времени обладающая техноценологическими свойствами взаимосвязанная совокупность потребителей электроэнергии, реализующая в единой системе управления и всестороннего обеспечения цель оптимального управления электропотреблением. Эффективное управление РЭК требует актуальных и достоверных данных о режимах электропотребления всех входящих объектов. Именно качество этих данных определяет точность прогнозирования и обоснованность управленческих решений.

Данные, поступающие с АСКУЭ и информационно-аналитических систем, характеризуются значительным числом искажений. Их причинами являются различия в программном обеспечении разных систем, отсутствие синхронизации каналов передачи, ошибки при ручном вводе и недостаточная стандартизация форматов хранения. В результате возникают пропуски, выбросы и систематические ошибки, снижающие качество анализа.

Традиционные методы статистики предполагают нормальное (гауссово) распределение анализируемых данных. Однако реальные данные об электропотреблении этому условию не удовлетворяют. В соответствии с техноценологической теорией, разработанной в научных школах Б.И. Кудрина и В.И. Гнатюка, совокупность объектов РЭК ведет себя как техноценоз – сообщество технических изделий, параметры которого подчиняются не гауссовым, а гиперболическим (степенным) распределениям.

Это означает, что небольшая группа объектов потребляет подавляющую долю совокупной электроэнергии, тогда как большинство объектов имеет относительно малое потребление. Такая структура описывается распределением Ципфа – Мандельброта.

Для анализа данных с таким распределением применяется ранговый анализ. Его суть состоит в упорядочивании объектов по убыванию электропотребления и присвоении каждому ранга. Построенный ранговый ряд

в двойных логарифмических координатах принимает форму прямой линии, что позволяет выявлять закономерности структуры потребления, обнаруживать аномалии и производить аппроксимацию данных. Ранговый анализ является более устойчивым к выбросам и аномалиям по сравнению с методами, основанными на среднеарифметических значениях.

## **МОДЕЛЬ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ ДАННЫХ**

Для повышения достоверности данных и улучшения качества прогнозирования разработана модель параметрической адаптации. Под параметрической адаптацией понимается итерационный процесс проверки и корректировки данных по критериям максимума прогностических возможностей с целью формирования опорного слоя данных для дальнейшего анализа. Модель реализуется в виде четырех последовательных алгоритмов. Первый – обработка и форматирование «сырых» данных: синтаксическая очистка, приведение к единому формату и единицам измерения, формирование матрицы исходных значений. Второй – верификация данных: обнаружение пропусков и выбросов на основе рангового анализа, их устранение методами сплайн-интерполяции и численной экстраполяции. Третий – ранжирование: упорядочивание данных по электропотреблению в порядке снижения значений электропотребления и установление функциональной связи между значением электропотребления и соответствующим ему в выборке рангом. Четвертый – аппроксимация: построение аналитической модели рангового распределения методами наименьших квадратов (МНК) или наименьших модулей (МНМ) с выбором лучшего метода по коэффициенту корреляции. Пятый – оценка адекватности: сравнение прогностических свойств сырых, верифицированных, ранжированных и аппроксимированных данных по показателям MAPE и среднеквадратической ошибки. Слой с наилучшими показателями объявляется опорным.

Апробация модели на данных подстанций Калининградского РЭК показала, что наибольшей прогностической точностью обладают аппроксимированные данные. Модель является ключевым компонентом цифрового двойника – виртуальной динамической модели, воспроизводящей состояние реальных объектов РЭК в режиме реального времени.

## **БАЗА ДАННЫХ КАК ОСНОВА АНАЛИЗА**

Для хранения, обработки и анализа данных по электропотреблению применяется реляционная база данных. Реляционная модель представляет информацию в виде таблиц, связанных между собой по ключевым полям.

Каждая таблица описывает отдельную сущность предметной области и имеет первичный ключ (Primary Key) – уникальный идентификатор записи. Связи между таблицами устанавливаются через внешние ключи (Foreign Key), обеспечивающие ссылочную целостность.

В задаче анализа электропотребления целесообразно выделить следующие таблицы: объекты (подстанции); измерения с привязкой к объекту и периоду; отдельные таблицы для каждого слоя данных – сырых, верифицированных, ранжированных и аппроксимированных. Такая структура позволяет отслеживать трансформацию данных на каждом этапе обработки и проводить сравнительный анализ их прогностических свойств.

При проектировании база данных приводится к третьей нормальной форме (3НФ), что исключает избыточность данных и аномалии при обновлении. Для управления базой данных используется язык SQL (Structured Query Language). Целостность данных обеспечивается ограничениями NOT NULL (запрет пустых значений), UNIQUE (уникальность) и CHECK (допустимый диапазон значений). Дополнительно могут применяться триггеры – хранимые процедуры, автоматически выполняемые при вставке или изменении данных. База данных по электропотреблению выступает ядром информационно-аналитической системы и служит основой для формирования цифрового двойника РЭК. Наличие структурированных и верифицированных данных позволяет выполнять прогнозирование электропотребления, оценивать эффективность управления энергоресурсами и принимать обоснованные управленческие решения.

## СБОР СЫРЫХ ДАННЫХ

Данные по электропотреблению объектов регионального электротехнического комплекса АО «Янтарьэнерго» зафиксированы на фидерах 77 системообразующих подстанций (уровня 110 кВ) каждый месяц за 15 лет: от 2008 до 2022 года. Ниже представлен фрагмент исходной таблицы, содержащей данные по электропотреблению (тыс. кВт·ч\месяц).

Номер	2008												За год
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	7 307 892	6 593 547	6 187 290	5 377 282	4 816 981	4 197 172	3 982 016	4 492 306	4 937 142	5 571 254	6 102 798	6 480 928	66 026 607
2	4 207 680	3 657 600	3 667 680	3 045 120	2 775 120	2 427 360	1 878 480	2 305 440	2 580 480	3 420 000	3 520 800	3 970 080	37 455 840
3	1 952 400	1 959 000	1 929 000	1 671 600	1 659 900	1 572 660	1 108 260	1 298 700	1 416 600	1 624 000	1 798 800	2 059 800	20 050 720
4	2 256 450	2 075 400	2 161 650	1 769 400	1 722 000	1 584 510	980 865	1 229 775	1 455 600	1 741 350	2 018 250	2 193 000	21 188 250
5	5 084 775	4 054 725	4 170 800	3 591 450	3 134 363	2 697 953	2 623 613	2 967 975	3 324 825	3 638 475	4 000 050	4 352 175	43 640 978
6	2 256 450	2 175 400	2 161 650	1 769 400	1 722 000	1 584 510	1 202 865	1 229 775	1 455 600	1 741 350	2 018 250	2 193 000	21 188 250
7	5 084 775	4 254 725	4 170 800	3 591 450	3 134 363	2 697 953	2 623 613	2 967 975	3 324 825	3 638 475	4 000 050	4 352 175	43 640 978
8	15 263 200	14 557 380	14 045 940	12 402 280	11 793 650	10 984 230	10 896 122	11 913 950	12 826 440	14 110 560	14 261 540	16 335 540	159 390 832
9	16 680 320	15 836 560	14 182 840	12 069 800	11 821 060	9 772 532	12 196 616	12 511 620	12 571 460	14 276 400	14 552 580	14 996 080	161 487 868
10	1 597 800	1 510 830	1 358 985	1 239 300	1 119 893	997 158	715 616	815 790	904 200	1 389 000	1 403 880	1 565 820	14 618 472
11	3 763 800	3 421 400	3 360 000	2 969 710	2 467 810	2 647 280	3 647 720	1 607 200	2 011 200	2 374 400	2 445 600	3 582 400	31 756 683
12	3 290 880	3 064 680	3 034 920	2 643 480	2 515 500	2 418 304	2 322 180	2 552 320	2 650 200	3 026 720	3 251 280	3 352 480	34 122 944
13	1 772 100	1 711 115	1 683 845	1 411 575	1 357 448	1 253 163	883 722	938 375	1 212 165	1 563 700	1 612 879	1 811 281	17 191 387
14	5 500 350	5 499 000	5 156 800	4 485 450	4 563 675	4 274 985	2 981 465	3 437 450	4 066 800	4 712 350	5 559 450	5 971 050	56 208 825
15	9 171 420	8 766 820	8 550 840	7 526 730	7 216 440	6 741 435	4 123 462	5 338 190	6 220 140	8 849 560	9 296 880	10 613 460	92 415 377
16	6 646 034	6 105 173	5 595 179	4 594 656	4 069 229	3 402 816	2 977 206	3 218 154	3 838 354	4 162 966	4 877 405	5 403 367	54 890 537
17	20 414 724	19 958 432	18 123 884	17 395 040	17 249 620	16 460 260	15 006 291	15 679 886	16 769 952	17 836 408	19 832 592	20 016 540	214 743 629
18	6 304 096	5 657 678	5 311 567	4 507 179	4 160 915	3 647 280	2 587 125	2 928 161	3 661 875	4 541 040	5 278 118	6 008 468	54 156 800
19	3 171 446	3 033 600	2 935 380	2 426 400	2 308 367	2 075 031	1 299 139	1 538 505	1 954 680	2 444 460	2 871 728	3 276 810	29 336 548
20	5 175 000	4 645 380	4 182 400	3 836 400	3 590 100	3 192 222	2 143 416	2 618 460	2 862 660	3 919 740	4 403 740	4 408 140	44 007 656
21	3 678 400	3 526 800	3 237 200	3 157 690	2 687 090	2 541 917	2 073 360	2 446 500	2 746 800	3 331 800	3 506 400	3 832 400	36 866 357
22	2 393 850	2 179 950	2 005 150	1 779 600	1 685 250	1 503 585	1 172 490	1 387 725	1 556 850	1 882 200	2 043 750	2 220 450	21 809 950
23	5 232 600	4 771 200	4 560 800	4 073 400	4 007 400	3 580 580	2 563 619	1 940 800	2 645 200	3 567 800	4 618 200	4 976 400	46 875 599
24	4 987 564	4 839 955	4 546 347	4 114 307	4 043 699	3 842 361	3 139 842	3 534 237	4 051 412	4 198 851	4 597 437	5 233 201	51 129 212
25	5 671 856	5 187 484	4 995 792	4 391 564	4 149 378	3 784 460	2 174 722	2 758 936	2 939 552	3 971 920	5 033 256	5 533 152	50 592 072
26	3 432 150	3 336 750	3 084 450	2 497 800	2 450 100	2 195 025	1 888 960	1 655 225	2 114 600	2 598 600	2 753 000	3 217 350	31 224 010

Сведения по электропотреблению за каждый месяц каждого года не подходят для анализа больших промежутков времени, в связи с чем необходимо составить таблицу, строки которой будут описывать 77 объектов, а столбцы – суммарное электропотребление за год (тыс. кВт·ч/год).

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
65 029 007	61 423 888	63 318 435	62 651 142	59 506 545	79 888 892	79 815 985	76 986 903	78 418 071	80 102 859	78 538 954	79 454 675	76 950 387	86 960 943	77 099 795
37 455 940	37 751 380	37 120 683	38 328 749	35 815 036	120 678 490	85 002 317	83 992 248	82 822 906	83 993 917	81 181 198	78 988 899	77 282 138	93 754 356	76 883 304
20 050 720	20 031 895	93 324 788	91 568 860	89 588 860	89 397 020	28 829 480	31 816 440	28 599 980	28 608 950	22 496 642	20 928 301	19 235 177	24 587 934	22 564 242
21 188 250	23 296 744	24 618 154	23 172 174	25 198 733	113 807 293	22 785 960	22 887 120	23 387 840	27 774 000	18 771 120	3 881 040	0	0	0
43 840 978	58 220 810	67 383 158	78 887 737	81 467 738	80 571 710	83 886 822	54 410 816	50 985 204	47 694 525	48 500 278	42 148 383	42 640 928	62 506 206	43 298 026
21 518 250	22 098 714	23 849 154	25 302 174	25 456 733	76 888 301	119 458 785	128 538 520	120 493 147	120 227 288	117 694 124	118 729 874	132 405 752	116 882 898	116 882 898
43 840 978	58 220 810	67 383 158	81 467 738	81 467 738	80 571 710	83 886 822	89 605 400	86 210 480	73 147 225	73 103 093	80 494 532	80 362 944	87 383 803	76 018 437
159 390 532	163 291 132	214 959 640	202 599 600	199 347 020	28 768 875	210 375 000	218 140 400	220 582 400	219 677 370	214 886 445	210 190 388	220 039 368	208 659 170	161 487 868
161 487 868	162 844 424	194 473 930	187 574 526	184 773 995	51 200 582	181 829 038	180 330 751	170 383 360	160 853 760	175 156 734	178 335 911	187 321 900	188 599 284	173 268 886
14 618 472	16 889 700	22 979 398	24 591 883	31 592 804	203 738 878	30 313 520	33 782 420	29 398 011	27 481 424	30 502 562	32 509 818	35 708 705	32 320 397	31 586 073
31 755 683	28 800 019	30 646 448	29 963 783	27 223 881	195 517 081	30 869 724	31 483 888	28 214 048	28 725 804	24 809 323	25 379 170	28 969 940	26 204 100	26 382 172
34 122 844	29 019 300	57 805 148	61 407 677	70 711 000	34 864 874	64 421 000	64 035 000	62 028 000	62 913 570	64 920 756	62 459 684	69 609 232	68 201 586	60 204 100
17 191 387	22 398 431	22 992 361	22 992 361	22 992 361	35 097 345	38 005 040	35 218 979	34 638 881	35 772 121	37 317 285	38 067 756	31 671 882	32 970 551	34 411 228
68 208 626	53 488 326	59 816 450	61 717 290	63 728 988	66 981 000	68 488 000	67 448 520	67 400 798	64 882 282	61 204 038	58 447 011	54 885 240	69 099 488	58 491 853
92 415 377	102 079 488	109 001 488	109 250 124	92 251 148	42 871 091	120 329 540	125 444 854	134 217 432	137 792 498	141 518 213	146 131 450	151 279 958	161 894 853	138 805 895
54 890 537	55 277 488	62 238 081	63 487 590	62 389 850	68 271 931	64 678 452	65 899 000	72 842 318	68 245 728	71 899 503	71 582 184	68 687 407	77 095 978	68 381 017
214 743 629	222 598 577	283 804 200	288 098 855	291 402 210	70 028 232	293 431 560	284 838 880	288 710 780	274 151 888	282 378 003	287 012 334	274 867 924	283 887 907	278 314 842
64 156 800	62 898 488	56 672 648	57 350 879	60 450 679	302 831 852	60 426 190	60 041 520	62 218 140	57 828 432	45 171 053	43 888 950	33 104 202	38 793 447	44 572 438
29 356 540	31 668 440	40 112 270	45 212 270	46 328 500	47 250 938	43 388 280	43 809 960	41 780 304	40 036 992	41 888 891	41 872 813	42 819 202	44 381 322	42 148 814
44 607 658	48 324 512	73 430 098	80 730 098	95 530 098	104 644 624	102 780 376	91 044 340	99 337 001	102 447 388	98 706 278	110 836 727	110 836 727	112 511 748	107 653 322
36 886 357	40 907 020	55 397 942	53 973 252	45 798 257	62 276 171	55 987 776	48 584 738	49 600 950	46 772 481	41 432 981	35 751 718	40 987 194	44 255 213	40 802 810
21 809 950	23 823 068	24 118 883	24 733 386	21 459 848	28 561 410	22 297 440	23 333 760	25 818 368	23 082 494	19 832 916	20 833 733	22 458 402	21 598 298	21 825 238
46 075 998	48 861 754	60 702 868	65 890 868	64 790 868	75 083 872	70 053 960	79 179 480	82 033 820	84 013 580	92 748 160	93 215 880	97 308 035	103 288 598	83 103 014
51 129 212	45 439 370	56 139 532	55 939 632	58 239 631	70 728 321	63 099 888	70 258 078	69 862 970	72 789 015	72 218 402	73 709 146	75 370 775	84 996 923	70 618 387
60 592 072	62 812 792	68 080 027	72 410 119	69 283 331	83 859 654	80 773 200	80 923 120	81 000 960	87 293 288	96 308 810	93 154 118	90 206 288	95 897 162	98 399 482
31 224 010	30 904 060	36 694 083	34 837 910	39 418 165	65 836 788	32 439 964	34 889 882	32 388 816	36 241 170	37 827 988	30 820 360	30 829 107	42 312 988	29 288 482
64 842 047	56 344 112	46 088 801	45 398 801	45 198 801	63 914 131	64 761 400	68 708 738	69 578 432	67 088 984	64 740 794	61 878 120	64 801 378	71 478 305	59 005 265
98 252 522	104 235 594	102 290 874	104 809 598	102 440 874	105 114 087	99 589 680	92 890 415	90 903 780	94 233 113	97 174 450	94 820 878	91 488 448	96 383 270	85 465 984

быть представлены в любом удобном для исследователя виде с необходимыми пояснениями и комментариями. Во втором файле должны содержаться только числовые значения параметров, выстроенные последовательно друг за другом в ячейках электронной таблицы без каких-либо текстовых записей (этот файл должен состоять только из цифр). Данные формируются в виде двумерной таблицы, строки которой соответствуют временным интервалам, в течение которых исследовался РЭК (месяцы, годы и т.д.), а столбцы – подстанциям. Если рассматривается статическое состояние РЭК (только на фиксированный момент времени), таблица состоит лишь из одной строки. В любом случае, в каждой ячейке таблицы содержится одно число, соответствующее исследуемому параметру (в определенной системе измерений), описывающему один объект на одном временном интервале. Файл должен быть назван «RAW\_data.xlsx». Далее, уже программными средствами, осуществляется импорт данных из файла «RAW\_data.xlsx». Делается это следующим образом:

W :=



RAW\_data.xlsx

ORIGIN := 1

V := W<sup>T</sup>

Сформированная матрица V содержит информацию об исследуемом РЭК. Причем, каждая строка соответствует определенному году, а каждый столбец – объекту. Далее матрицу можно вывести и просмотреть.

V =

	0	1	2	3	4	5
0	6.603·10 <sup>7</sup>	3.746·10 <sup>7</sup>	2.005·10 <sup>7</sup>	2.119·10 <sup>7</sup>	4.364·10 <sup>7</sup>	2.152·10 <sup>7</sup>
1	6.142·10 <sup>7</sup>	3.775·10 <sup>7</sup>	2.403·10 <sup>7</sup>	2.324·10 <sup>7</sup>	5.622·10 <sup>7</sup>	2.204·10 <sup>7</sup>
2	6.332·10 <sup>7</sup>	8.712·10 <sup>7</sup>	9.332·10 <sup>7</sup>	2.462·10 <sup>7</sup>	6.736·10 <sup>7</sup>	2.385·10 <sup>7</sup>
3	6.266·10 <sup>7</sup>	8.933·10 <sup>7</sup>	9.157·10 <sup>7</sup>	2.317·10 <sup>7</sup>	7.887·10 <sup>7</sup>	2.53·10 <sup>7</sup>
4	5.991·10 <sup>7</sup>	6.582·10 <sup>7</sup>	8.957·10 <sup>7</sup>	2.52·10 <sup>7</sup>	8.147·10 <sup>7</sup>	2.55·10 <sup>7</sup>
5	7.989·10 <sup>7</sup>	1.207·10 <sup>8</sup>	6.94·10 <sup>7</sup>	1.138·10 <sup>8</sup>	6.057·10 <sup>7</sup>	7.687·10 <sup>7</sup>
6	7.982·10 <sup>7</sup>	8.56·10 <sup>7</sup>	2.853·10 <sup>7</sup>	2.279·10 <sup>7</sup>	5.387·10 <sup>7</sup>	1.195·10 <sup>8</sup>
7	7.687·10 <sup>7</sup>	8.399·10 <sup>7</sup>	3.182·10 <sup>7</sup>	2.289·10 <sup>7</sup>	5.441·10 <sup>7</sup>	1.182·10 <sup>8</sup>
8	7.842·10 <sup>7</sup>	8.282·10 <sup>7</sup>	2.86·10 <sup>7</sup>	2.337·10 <sup>7</sup>	5.099·10 <sup>7</sup>	1.255·10 <sup>8</sup>
9	8.01·10 <sup>7</sup>	8.399·10 <sup>7</sup>	2.561·10 <sup>7</sup>	2.777·10 <sup>7</sup>	4.769·10 <sup>7</sup>	1.205·10 <sup>8</sup>
10	7.854·10 <sup>7</sup>	8.118·10 <sup>7</sup>	2.25·10 <sup>7</sup>	1.877·10 <sup>7</sup>	4.85·10 <sup>7</sup>	1.202·10 <sup>8</sup>
11	7.945·10 <sup>7</sup>	7.7·10 <sup>7</sup>	2.093·10 <sup>7</sup>	3.881·10 <sup>6</sup>	4.215·10 <sup>7</sup>	1.177·10 <sup>8</sup>
12	7.656·10 <sup>7</sup>	7.726·10 <sup>7</sup>	1.924·10 <sup>7</sup>	5.471·10 <sup>7</sup>	4.264·10 <sup>7</sup>	1.187·10 <sup>8</sup>
13	8.698·10 <sup>7</sup>	9.375·10 <sup>7</sup>	2.459·10 <sup>7</sup>	5.474·10 <sup>7</sup>	5.251·10 <sup>7</sup>	1.324·10 <sup>8</sup>
14	7.71·10 <sup>7</sup>	7.568·10 <sup>7</sup>	2.255·10 <sup>7</sup>	6.142·10 <sup>7</sup>	4.324·10 <sup>7</sup>	...

Как показывает опыт, далеко не всегда исходные данные, используемые для процедур управления электропотреблением РЭК, оказываются вполне корректными, что в значительной степени снижает достоверность интервального оценивания, прогнозирования и нормирования. Следовательно, требуется предварительная верификация базы данных, которая включает следующие процедуры: 1) устранение нулевых данных; 2) устранение явно ошибочных данных (выбросов); 3) устранение абсолютно равных данных; 4) восстановление утерянных данных.

Нулевые и абсолютно равные данные являются первым признаком некорректности базы, что очевидно даже с точки зрения физического смысла. Кроме того, подобные данные очень плохо обрабатываются компьютерными программами. Выбросы в данных являются следствием грубых ошибок при фиксации параметров обслуживающим персоналом либо сбоев в работе технических средств измерений. Наконец, утеря данных может произойти как по вине персонала, так и по причине тяжелых сбоев в работе серверов, на которых хранятся базы. В ряде случаев требуется просто корректное наращивание базы данных на несколько лет «назад».

Необходимо отметить, что верификация не является обязательной процедурой, однако она должна обязательно применяться в том случае, если есть хотя бы малейшее сомнение в корректности исходных данных.

Итак, рассмотрим процедуры верификации на примере имеющейся базы данных по электропотреблению.

### **Устранение нулевых данных**

Нулевые значения, находящиеся внутри базы данных, восстанавливаются при помощи сплайн-интерполяции, а на границе базы данных – применением функции экстраполяции.

Устраним нулевые данные внутри базы данных методом сплайн-интерполяции. Для этого сформируем вектор времени.

```
i := 1 .. rows(V)  
Qi := i
```

Входными параметрами программы являются исходная матрица данных по электропотреблению и вектор времени.

```

H(A,Q) := | V ← A
           | for i ∈ 1.. rows(V)
           |   for j ∈ 1.. cols(V)
           |     if Vi,j = 0 ∧ i ≠ 1 ∧ i ≠ rows(V)
           |       | X ←  $\begin{pmatrix} Q_{i-1} \\ Q_{i+1} \\ Q_{i+2} \end{pmatrix}$ 
           |       | Y ←  $\begin{bmatrix} (V^{(j)})_{i-1} \\ (V^{(j)})_{i+1} \\ (V^{(j)})_{i+2} \end{bmatrix}$ 
           |       | S ← cspline(X,Y)
           |       | Wi,j ← interp(S,X,Y,Qi)
           |       | Wi,j ← Vi,j otherwise
           | W

```

```

H1(A,Q) := | V ← A
           | for i ∈ 1.. rows(V)
           |   for j ∈ 1.. cols(V)
           |     if Vi,j = 0 ∧ i ≠ 1 ∧ i ≠ rows(V)
           |       | X ←  $\begin{pmatrix} Q_{i-2} \\ Q_{i-1} \\ Q_{i+1} \end{pmatrix}$ 
           |       | Y ←  $\begin{bmatrix} (V^{(j)})_{i-2} \\ (V^{(j)})_{i-1} \\ (V^{(j)})_{i+1} \end{bmatrix}$ 
           |       | S ← cspline(X,Y)
           |       | Wi,j ← interp[S,X,Y,(V(1))i]
           |       | Wi,j ← Vi,j otherwise
           | W

```

F := H(V,Q)

Алгоритм программы имеет особенность: для устранения нулевых данных необходимо, чтобы одно значение до нуля и два после не были равны нулю. При необходимости исследователь может адаптировать алгоритм в зависимости от положения нулевых данных, для чего надо изменить значения элементов векторов X и Y, используемых функцией сплайн-интерполяции «cspline». Если структура нулевых данных такова, что при-

веденная выше программа не работает автоматически для всей базы, можно использовать программу, приведенную ниже, входным параметром которой является не вся база, а отдельный вектор данных.

```

H1(A,Q) := | V ← A
            | for i ∈ 1.. длина(V)
            |   if Vi = 0 ∧ i ≠ 1 ∧ i ≠ rows(V)
            |     | X ←  $\begin{pmatrix} Q_{i-1} \\ Q_{i+2} \\ Q_{i+3} \end{pmatrix}$ 
            |     | Y ←  $\begin{pmatrix} V_{i-1} \\ V_{i+2} \\ V_{i+3} \end{pmatrix}$ 
            |     | S ← cspline(X,Y)
            |     | Wi ← interp(S,X,Y,Qi)
            |     | Wi ← Vi otherwise
            | W
    
```

Устраним нулевые данные в начале или конце вектора данных по электропотреблению, используя метод экстраполяции.

```

FF(A) := | for i ∈ 1.. rows(A)
            |   for j ∈ 1.. cols(A)
            |     | if Ai,j = 0 ∧ i = 1
            |     |   | F ← reverse(A(j))
            |     |   | F1 ← submatrix(F,1,rows(F) - 1,1,1)
            |     |   | Wi,j ← |predict(F1,3,1)|
            |     |   | Wi,j ← Ai,j otherwise
            |     | for k ∈ 1.. rows(W)
            |     |   for l ∈ 1.. cols(W)
            |     |     | if Wk,1 = 0 ∧ k = rows(W)
            |     |     |   | F2 ← submatrix(W(l),1,rows(W(l)) - 1,1,1)
            |     |     |   | W1k,1 ← |predict(F2,3,1)|
            |     |     |   | W1k,1 ← Wk,1 otherwise
            |     | W1
    
```

$$\underline{W} := FF(F)$$

### Устранение явно ошибочных данных (выбросов)

Выбросы – это нетипичные данные, которые существенно (без корректного объяснения) отклоняются от центра распределения. Подобные данные связаны с грубыми ошибками измерения и обязательно должны подвергаться процедуре верификации. Рассмотрим, как это может быть осуществлено программными средствами Mathcad.

```
DR(G) := | S1 ← G
          | for j ∈ 1..cols(S1)
          |   | n ← длина(S1<sup>j</sup>)
          |   | y ← sort(S1<sup>j</sup>)
          |   | H1 ← (0.25·n + 0.25)
          |   | H2 ← (0.75·n + 0.75)
          |   | Q1 ← H1 – floor(H1)
          |   | Q2 ← H2 – floor(H2)
          |   | p1 ← yfloor(H1) + Q1·(yceil(H1) – yfloor(H1))
          |   | p2 ← yfloor(H2) + Q2·(yceil(H2) – yfloor(H2))
          |   | L ← p2 – p1
          |   | for i ∈ 1..n
          |   |   | qi,j ← S1i,j if p1 – 1.5·L < S1i,j < p2 + 1.5·L
          |   |   | qi,j ← 0 otherwise
          | q
```

$$DR(W) =$$

	0	1	2	3
0	$6.603 \cdot 10^7$	0	$2.005 \cdot 10^7$	$2.119 \cdot 10^7$
1	$6.142 \cdot 10^7$	0	$2.403 \cdot 10^7$	$2.324 \cdot 10^7$
2	$6.332 \cdot 10^7$	$8.712 \cdot 10^7$	$9.332 \cdot 10^7$	$2.462 \cdot 10^7$
3	$6.266 \cdot 10^7$	$8.933 \cdot 10^7$	$9.157 \cdot 10^7$	$2.317 \cdot 10^7$
4	$5.991 \cdot 10^7$	$6.582 \cdot 10^7$	$8.957 \cdot 10^7$	...

$$\underline{S} := DR(W)$$

Анализируя выбросы, исследователь должен выявить их природу и принять решение, использовать их для дальнейшей работы либо произвести замену сплайн-интерполяцией или экстраполяцией.

Вычислим индексы векторов, имеющих нулевые данные.

$$\text{Ind}(S) := \left\{ \begin{array}{l} D \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 1.. \text{cols}(S) \\ \quad \text{for } i \in 1.. \text{rows}(S) \\ \quad \quad D \leftarrow \text{stack}(D, j) \text{ if } S(i, j) = 0 \\ D1 \leftarrow \text{submatrix}(D, 2, \text{длина}(D), 1, 1) \\ D1^T \end{array} \right.$$

$$\text{Ind}(S) =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	2	2	2	4	7	8	8	8	8	9
										...

Извлечем вектора из базы

$$S^{(5)} =$$

	0
0	$4.364 \cdot 10^7$
1	$5.622 \cdot 10^7$
2	$6.736 \cdot 10^7$
3	$7.887 \cdot 10^7$
4	$8.147 \cdot 10^7$
5	$6.057 \cdot 10^7$
6	$5.387 \cdot 10^7$
7	$5.441 \cdot 10^7$
8	$5.099 \cdot 10^7$
9	$4.769 \cdot 10^7$
10	$4.85 \cdot 10^7$
11	$4.215 \cdot 10^7$
12	$4.264 \cdot 10^7$
13	$5.251 \cdot 10^7$
14	$4.324 \cdot 10^7$

Как видно, структура нулевых данных различна, поэтому восстанавливаем вектора по отдельности, а затем производим их замену.

$$Q1 := H1(S^{(5)}, Q)$$

$$S^{(5)} := Q1$$

```

H2(A,Q) :=
  V ← A
  for i ∈ 1..длина(V)
    if Vi = 0 ∧ i ≠ 1 ∧ i ≠ rows(V)
      X ←  $\begin{pmatrix} Q_{i-1} \\ Q_{i+1} \\ Q_{i+2} \end{pmatrix}$ 
      Y ←  $\begin{pmatrix} V_{i-1} \\ V_{i+1} \\ V_{i+2} \end{pmatrix}$ 
      S ← cspline(X, Y)
      Wi ← interp(S, X, Y, Qi)
    Wi ← Vi otherwise
  W
  
```

```

H3(A,Q) :=
  V ← A
  for i ∈ 1..длина(V)
    if Vi = 0 ∧ i ≠ 1 ∧ i ≠ rows(V)
      X ←  $\begin{pmatrix} Q_{i-2} \\ Q_{i-1} \\ Q_{i+1} \end{pmatrix}$ 
      Y ←  $\begin{pmatrix} V_{i-2} \\ V_{i-1} \\ V_{i+1} \end{pmatrix}$ 
      S ← cspline(X, Y)
      Wi ← interp(S, X, Y, Qi)
    Wi ← Vi otherwise
  W
  
```

$$Q3 := H2(S^{(5)}, Q)$$

$$S^{(5)} := Q3$$

$Q_3 =$

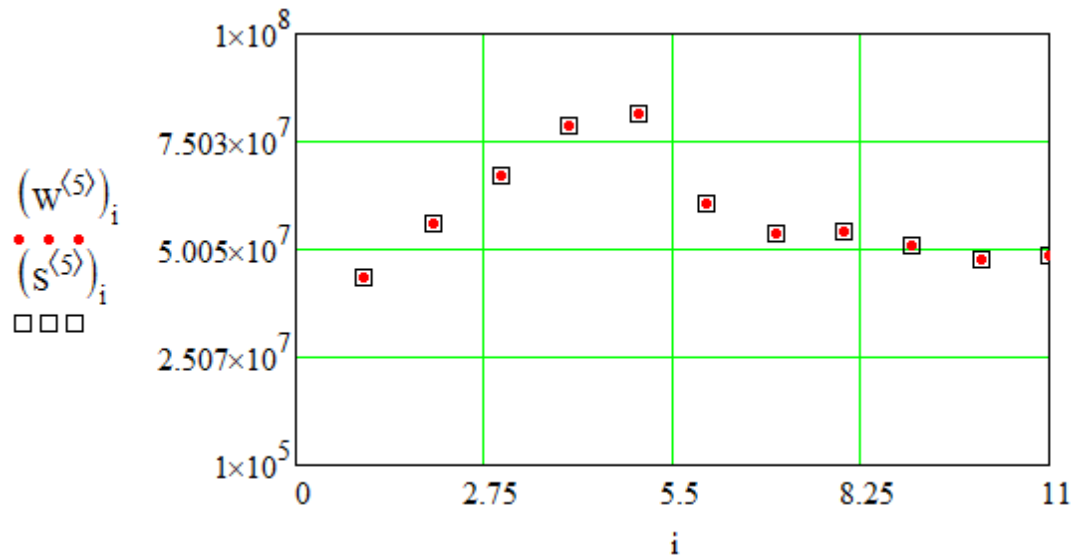
	0
0	$4.364 \cdot 10^7$
1	$5.622 \cdot 10^7$
2	$6.736 \cdot 10^7$
3	$7.887 \cdot 10^7$
4	$8.147 \cdot 10^7$
5	$6.057 \cdot 10^7$
6	$5.387 \cdot 10^7$
7	$5.441 \cdot 10^7$
8	$5.099 \cdot 10^7$
9	$4.769 \cdot 10^7$
10	$4.85 \cdot 10^7$
11	$4.215 \cdot 10^7$
12	$4.264 \cdot 10^7$
13	$5.251 \cdot 10^7$
14	$4.324 \cdot 10^7$

$S^{(5)} =$

	0
0	$4.364 \cdot 10^7$
1	$5.622 \cdot 10^7$
2	$6.736 \cdot 10^7$
3	$7.887 \cdot 10^7$
4	$8.147 \cdot 10^7$
5	$6.057 \cdot 10^7$
6	$5.387 \cdot 10^7$
7	$5.441 \cdot 10^7$
8	$5.099 \cdot 10^7$
9	$4.769 \cdot 10^7$
10	$4.85 \cdot 10^7$
11	$4.215 \cdot 10^7$
12	$4.264 \cdot 10^7$
13	$5.251 \cdot 10^7$
14	$4.324 \cdot 10^7$

Восстановим нули на границе базы данных и построим график.

$$W_2 := FF(S)$$



### Устранение абсолютно равных данных

Абсолютно равные данные устраняется путем прибавления к исходным данным относительно малых значений случайной величины, программно сгенерированной по нормальному закону.

$$P(T) := \begin{cases} \text{for } j \in 1.. \text{cols}(T) \\ a^{(j)} \leftarrow T^{(j)} + \text{norm}(\text{rows}(T), 2, 1.1) \\ a \end{cases}$$

$$A := P(W2)$$

### Восстановление утерянных данных

Восстановление утерянной части базы данных может быть осуществлено экстраполяцией по каждому объекту в отдельности.

Прежде всего, исследователь должен в теле программы задать переменную «int» – количество лет, на которое необходимо восстановить базу данных (в данном случае принимаем переменную, равной 2).

$$\text{int} := 2$$

$$\text{USS}(A, \text{int}) := \left| \begin{array}{l} \text{for } j \in 1.. \text{cols}(A) \\ \quad \left| \begin{array}{l} S \leftarrow \text{reverse}(A^{\langle j \rangle}) \\ A1^{\langle j \rangle} \leftarrow \text{stack}(\text{predict}(S, 3, \text{int}), A^{\langle j \rangle}) \end{array} \right. \\ A1 \end{array} \right.$$

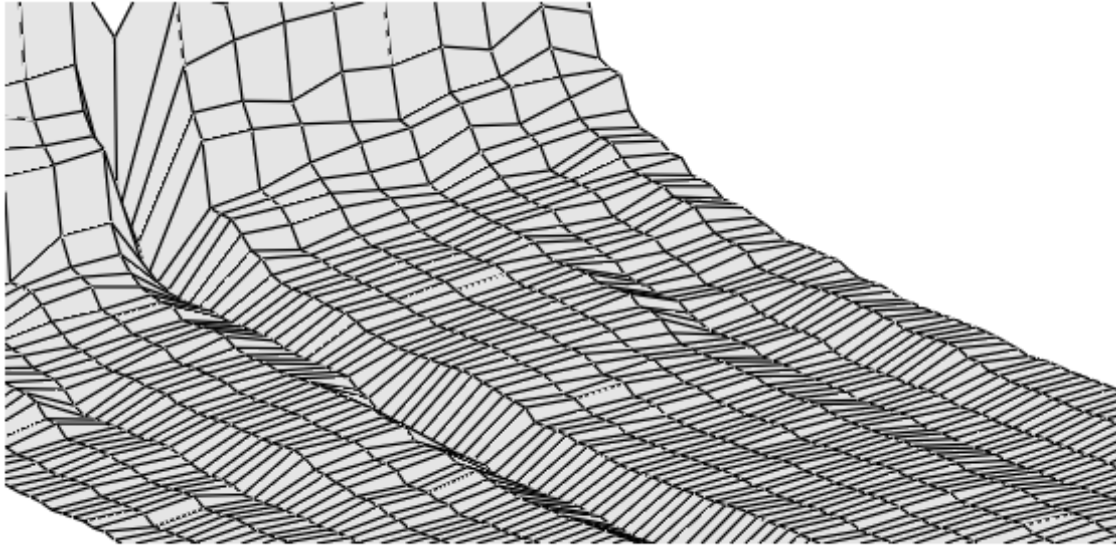
$$S := \text{USS}(A, \text{int})$$

Верифицированную базу данных можно просмотреть.

	0	1	2	3	4	5	6
0	6.436·10 <sup>7</sup>	4.34·10 <sup>7</sup>	5.84·10 <sup>6</sup>	1.967·10 <sup>7</sup>	4.077·10 <sup>7</sup>	2.099·10 <sup>7</sup>	5.401·10 <sup>7</sup>
1	6.416·10 <sup>7</sup>	2.505·10 <sup>7</sup>	1.948·10 <sup>6</sup>	1.822·10 <sup>7</sup>	4.186·10 <sup>7</sup>	2.032·10 <sup>7</sup>	4.987·10 <sup>7</sup>
2	6.603·10 <sup>7</sup>	2.564·10 <sup>7</sup>	2.005·10 <sup>7</sup>	2.119·10 <sup>7</sup>	4.364·10 <sup>7</sup>	2.152·10 <sup>7</sup>	4.384·10 <sup>7</sup>
3	6.142·10 <sup>7</sup>	1.169	2.403·10 <sup>7</sup>	2.324·10 <sup>7</sup>	5.622·10 <sup>7</sup>	2.204·10 <sup>7</sup>	5.552·10 <sup>7</sup>
4	6.332·10 <sup>7</sup>	8.712·10 <sup>7</sup>	9.332·10 <sup>7</sup>	2.462·10 <sup>7</sup>	6.736·10 <sup>7</sup>	2.385·10 <sup>7</sup>	8.086·10 <sup>7</sup>
5	6.266·10 <sup>7</sup>	8.933·10 <sup>7</sup>	9.157·10 <sup>7</sup>	2.317·10 <sup>7</sup>	7.887·10 <sup>7</sup>	2.53·10 <sup>7</sup>	8.147·10 <sup>7</sup>
6	5.991·10 <sup>7</sup>	6.582·10 <sup>7</sup>	8.957·10 <sup>7</sup>	2.52·10 <sup>7</sup>	8.147·10 <sup>7</sup>	2.55·10 <sup>7</sup>	8.147·10 <sup>7</sup>
7	7.989·10 <sup>7</sup>	1.205	6.94·10 <sup>7</sup>	2.471	6.057·10 <sup>7</sup>	7.687·10 <sup>7</sup>	2.305
8	7.982·10 <sup>7</sup>	8.56·10 <sup>7</sup>	2.853·10 <sup>7</sup>	2.279·10 <sup>7</sup>	5.387·10 <sup>7</sup>	1.195·10 <sup>8</sup>	...

Кроме того, визуализируем результаты, построив верифицированную ранговую поверхность техноценоза по электропотреблению.

$$\text{Zipf}(S) := \left| \begin{array}{l} W1 \leftarrow S^T \\ \text{for } i \in 1.. \text{cols}(W1) \\ \quad \left| \begin{array}{l} c \leftarrow \text{sort}(W1^{\langle i \rangle}) \\ b^{\langle i \rangle} \leftarrow \text{reverse}(c) \end{array} \right. \\ b \end{array} \right.$$



Zipf(S)

$$C := S^T$$

В заключение сохраним полученную верифицированную базу данных в отдельный файл «Verified\_data\_years.xlsx».



Verified\_data\_years.xlsx


C

## РАНЖИРОВАНИЕ ДАННЫХ

Исследование РЭК начинается со сбора статистической информации о его объектах. Сама по себе эта операция чрезвычайно трудоемкая и требующая многолетних систематических усилий целых научных коллективов. Однако после завершения сбора информации наступает не менее сложный этап глубокой статистической обработки полученных данных. Современное компьютерное прикладное программное обеспечение позволяет осуществлять быструю, эффективную и корректную обработку данных любых объемов и сложности. Ниже приводится расчетная Mathcad-программа с комментариями, предназначенная для первичной статистической обработки данных по электропотреблению РЭК.

## Подготовка данных

В начале расчета программными средствами осуществляется импорт данных из файла «C\_data\_verified.xls» в тело программы Mathcad и задается начало отсчета. Делается это следующим образом:

V :=   
C\_data\_verified.xls

ORIGIN := 1

Сформированная матрица V содержит информацию об исследуемом РЭК. Причем, каждая строка соответствует определенному году, а каждый столбец – объекту. В данной программе использовались данные по электропотреблению РЭК (77 объектов), расположенного на территории Калининградской области. Далее матрицу можно вывести и просмотреть.

V =

	1	2	3	4	5	6
1	6.436·10 <sup>7</sup>	6.416·10 <sup>7</sup>	6.603·10 <sup>7</sup>	6.142·10 <sup>7</sup>	6.332·10 <sup>7</sup>	6.266·10 <sup>7</sup>
2	4.34·10 <sup>7</sup>	2.505·10 <sup>7</sup>	2.564·10 <sup>7</sup>	1.169	8.712·10 <sup>7</sup>	8.933·10 <sup>7</sup>
3	5.84·10 <sup>6</sup>	1.948·10 <sup>6</sup>	2.005·10 <sup>7</sup>	2.403·10 <sup>7</sup>	9.332·10 <sup>7</sup>	9.157·10 <sup>7</sup>
4	1.967·10 <sup>7</sup>	1.822·10 <sup>7</sup>	2.119·10 <sup>7</sup>	2.324·10 <sup>7</sup>	2.462·10 <sup>7</sup>	2.317·10 <sup>7</sup>
5	4.077·10 <sup>7</sup>	4.186·10 <sup>7</sup>	4.364·10 <sup>7</sup>	5.622·10 <sup>7</sup>	6.736·10 <sup>7</sup>	7.887·10 <sup>7</sup>
6	2.099·10 <sup>7</sup>	2.032·10 <sup>7</sup>	2.152·10 <sup>7</sup>	2.204·10 <sup>7</sup>	2.385·10 <sup>7</sup>	2.53·10 <sup>7</sup>
7	5.401·10 <sup>7</sup>	4.987·10 <sup>7</sup>	4.384·10 <sup>7</sup>	5.552·10 <sup>7</sup>	8.086·10 <sup>7</sup>	8.147·10 <sup>7</sup>
8	3.153·10 <sup>7</sup>	3.229·10 <sup>7</sup>	3.412·10 <sup>7</sup>	3.139·10 <sup>7</sup>	3.065·10 <sup>7</sup>	3.056·10 <sup>7</sup>
9	3.076·10 <sup>7</sup>	3.162·10 <sup>7</sup>	3.412·10 <sup>7</sup>	3.139·10 <sup>7</sup>	3.065·10 <sup>7</sup>	3.056·10 <sup>7</sup>
10	1.332·10 <sup>7</sup>	1.272·10 <sup>7</sup>	1.462·10 <sup>7</sup>	1.689·10 <sup>7</sup>	2.298·10 <sup>7</sup>	2.459·10 <sup>7</sup>
11	3.008·10 <sup>7</sup>	3.065·10 <sup>7</sup>	3.176·10 <sup>7</sup>	2.86·10 <sup>7</sup>	3.065·10 <sup>7</sup>	2.996·10 <sup>7</sup>
12	2.253·10 <sup>7</sup>	1.932·10 <sup>7</sup>	3.006·10 <sup>7</sup>	2.394	5.781·10 <sup>7</sup>	6.141·10 <sup>7</sup>
13	1.585·10 <sup>7</sup>	1.735·10 <sup>7</sup>	1.719·10 <sup>7</sup>	2.297·10 <sup>7</sup>	2.299·10 <sup>7</sup>	2.299·10 <sup>7</sup>
14	5.416·10 <sup>7</sup>	5.518·10 <sup>7</sup>	5.621·10 <sup>7</sup>	5.305·10 <sup>7</sup>	5.982·10 <sup>7</sup>	6.172·10 <sup>7</sup>
15	9.732·10 <sup>7</sup>	9.332·10 <sup>7</sup>	9.242·10 <sup>7</sup>	1.021·10 <sup>8</sup>	1.09·10 <sup>8</sup>	1.093·10 <sup>8</sup>
16	5.689·10 <sup>7</sup>	5.563·10 <sup>7</sup>	5.489·10 <sup>7</sup>	5.528·10 <sup>7</sup>	6.284·10 <sup>7</sup>	...

Для упрощения дальнейшей работы в Mathcad матрицу можно транспонировать, чтобы ее колонки являлись векторами параметров:

W := V

```

Zipf(Y) := | for i ∈ 1..cols(Y)
            | | c ← sort(Y<i>)
            | | b<i> ← reverse(c)
            | b
    
```

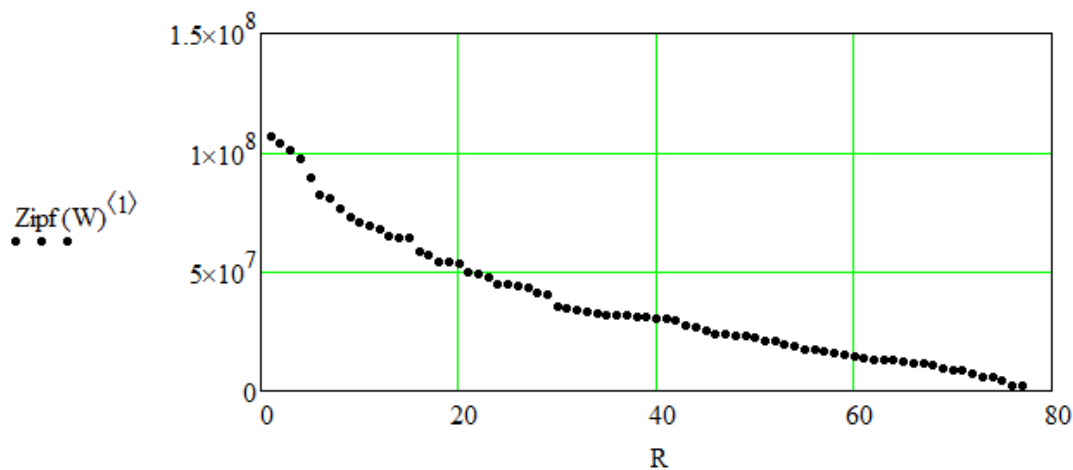
Функция Zipf позволяет сформировать матрицу, столбцы которой являются векторами, представляющими собой табулированное ранговое параметрическое распределение объектов РЭК на отдельных временных интервалах. С целью подготовки данных для дальнейшей работы программы определяется количество исследуемых объектов и формируется вектор.

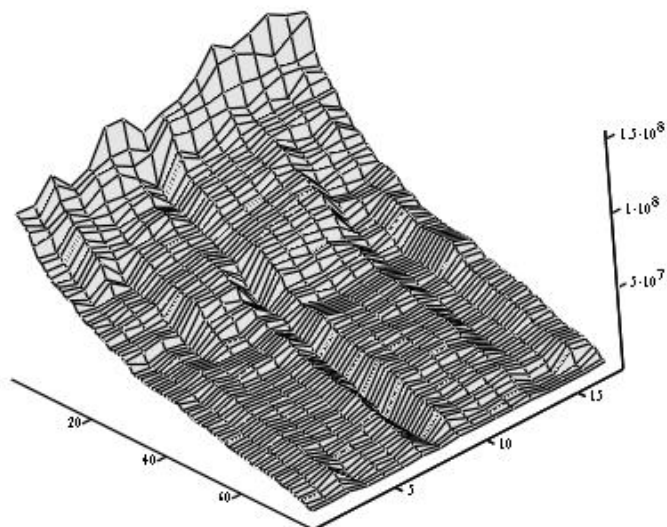
```

n := длина(Zipf(W)<1>)
n = 77
r := 1..n
Rr := r
    
```

### Графическое представление данных

Ранговое параметрическое распределение может быть изображено в графической форме. При этом рекомендуется использовать двумерные и трехмерные графики.





Zipf(W)

### Определение рангов для каждого объекта

Матрица рангов РЭК необходима для оценки динамики движения объектов по ранговой поверхности параметрического распределения. Матрица определяется с помощью следующей подпрограммы:

```

Rang(W) :=
  for j ∈ 1..cols(W)
    i ← 1
    a ← W(j)
    c ← sort(a)
    b ← reverse(c)
    for m ∈ 1..rows(a)
      for n ∈ 1..rows(b)
        Li,j ← n if am = bn
      i ← i + 1
  L
  
```

Rang := Rang(V)<sup>T</sup>

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	14	27	73	53	28	51	19	37	38	62	40	50
2	13	43	77	55	27	50	20	31	35	65	38	52
3	14	48	56	54	27	53	25	37	35	65	41	43
4	13	75	48	50	15	52	16	34	36	57	41	73
5	17	6	5	45	16	47	7	42	38	49	40	24
6	19	6	5	48	11	44	8	40	38	47	43	...

### Вычисление коэффициента конкордации

Коэффициент конкордации, определенный для совокупности ранговых параметрических распределений, характеризует степень взаимосвязанности РЭК. Он показывает согласованность перемещения объектов по ранговой поверхности при переходе от одного временного интервала к последующему. Для определения коэффициента конкордации средствами Mathcad последовательно выполняются следующие операции:

- определение суммы рангов для каждого объекта:

$$i := 1..rows(Rang)$$

$$j := 1..cols(Rang)$$

$$S_i := \sum_j Rang_{i,j}$$

$$S^T =$$

	1	2	3	4	5	6
1	250	410	760	840	415	...

- определение общей суммы рангов:

$$SS := \sum_{i=1}^n S_i$$

$$SS = 5.105 \times 10^4$$

- вычисление среднего для рангов:

$$SR := \frac{SS}{rows(S)}$$

$$SR = 663$$

- определение отклонения и квадрата отклонения сумм рангов для каждого объекта от средней рангов РЭК:

$$D := S - SR$$

$$D^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-413	-253	97	177	-248	-285	-334	-14	21	...

$$DKV := D^2$$

$$DKV^T =$$

	1	2	3	4	5	6
1	$1.706 \cdot 10^5$	$6.401 \cdot 10^4$	$9.409 \cdot 10^3$	$3.133 \cdot 10^4$	$6.15 \cdot 10^4$	...

- определение общей суммы квадратов отклонений рангов от средней для рангов РЭК, а также количества распределений:

$$SDKV := \sum_{j=1}^n DKV_j$$

$$SDKV = 7.943 \times 10^6$$

$$m := \text{rows}(\text{Rang})$$

$$m = 17$$

- вычисление коэффициента конкордации К:

$$K := \frac{12 \cdot SDKV}{m^2 \cdot (n^3 - n)}$$

$$K = 0.723$$

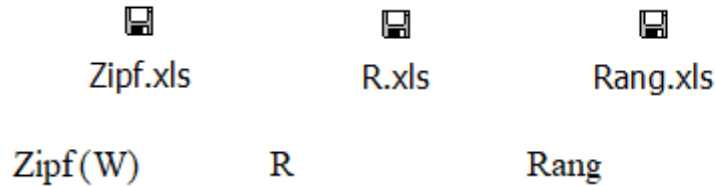
Для автоматизации оценки результатов вычислений используется специальная подпрограмма. Функция RESULT возвращает значение «yes», если коэффициент конкордации значим, «no», – если не значим и «error», – если в вычислениях допущена ошибка.

$$\text{RESULT}(y) := \begin{cases} \text{return "no"} & \text{if } 0 \leq y < 0.5 \\ \text{return "yes"} & \text{if } 0.5 \leq y \leq 1 \\ \text{return "error"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{RESULT}(K) = \text{"yes"}$$

Характерно, что для совокупности данных, используемых здесь, коэффициент конкордации значим, что свидетельствует о взаимосвязанности исследуемого РЭК (во всяком случае, по параметру электропотребления).

Для сохранения данных вне программы (с целью их последующего использования другими программами) их рекомендуется экспортировать в файлы. Реализуется данная операция средствами Mathcad.



## АППРОКСИМАЦИЯ ДАННЫХ

С точки зрения последующей статистической обработки данных большое значение имеет аппроксимация эмпирических ранговых распределений. Ее задача заключается в подборе аналитической зависимости, наилучшим образом описывающей совокупность точек. Мы задаем в качестве стандартной двухпараметрическую гиперболическую форму. Выбор формы объясняется традиционно сложившимся подходом среди исследователей, занимающихся ранговым анализом. Безусловно, данная форма далеко не самая совершенная, однако она обладает неоспоримым достоинством – сводит задачу аппроксимации к определению всего двух параметров. Аппроксимация может осуществляться различными методами, каждый из которых обладает как достоинствами, так и недостатками. Учитывая высокую скорость расчетов в среде Mathcad, в данной программе аппроксимация будет осуществляться сразу несколькими методами. После этого автоматически будет выбираться наиболее корректный вариант.

### Метод наименьших модулей


В качестве критерия близости искомой функции в данном методе используется минимум суммы модулей разностей эмпирических и теоретических данных, рассчитанных по уравнению регрессии.

В качестве первой операции программы задается начало отсчета и считывается из рабочих файлов исходная информация. При этом формируются матрицы: рангов  $R$  и табулированного рангового распределения  $V$ .

ORIGIN := 1

R :=

  
 R.xls

V :=  
  
 Zipf.xls

Далее осуществляется ряд подготовительных операций, включающих индексацию и транспонирование матриц.

```
n := rows(V)
n = 77
i := 1..n
Y := V(3)
```

После этого задается аппроксимационная форма и определяется целевая оптимизационная функция метода наименьших модулей с соответствующими начальными приближениями.

$$f(R, w1, b) := \frac{w1}{R^b}$$

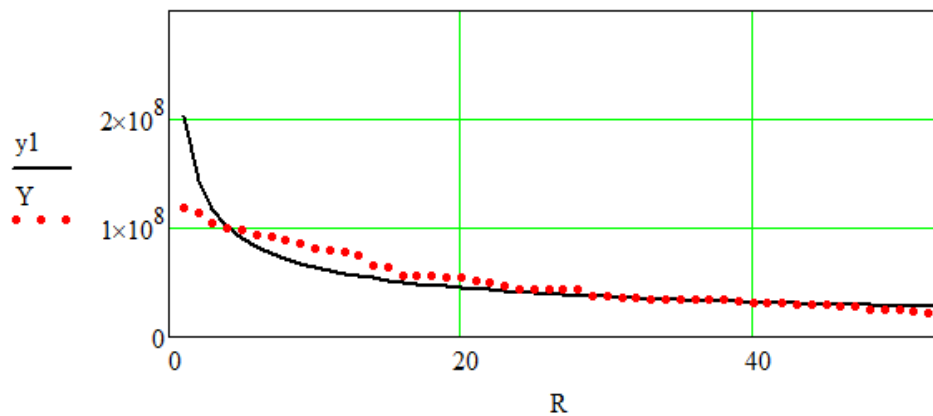
$$\Phi(w1, b) := \sum_i |(Y)_i - f(R_i, w1, b)|$$

```
w1 := Y1
b := 1
```

Поиск минимума функции  $\Phi$  осуществляется с использованием встроенной функции `Minimize`, в которой реализуются алгоритмы оптимизации, основывающиеся на итерационных вычислениях с использованием квазиньютоновского метода или метода сопряженных градиентов (выбор осуществляется в контекстном меню программы). Оба итерационных метода основываются на последовательном приближении к точке минимума. По результатам оптимизации определяются параметры аппроксимации.

```
m := Minimize(Φ, w1, b)
m =  $\begin{pmatrix} 2.03 \times 10^8 \\ 0.502 \end{pmatrix}$ 
y1 :=  $\frac{m_1}{R^{m_2}}$ 
```

Далее появляется возможность вывести результаты аппроксимации.



y1\_3.xls

y1

### Линейный метод наименьших квадратов

Известно, что функция может быть линеаризована посредством логарифмирования. Это позволяет при аппроксимации эффективно применять линейные регрессионные методы. Вводим формальные параметры, логарифмируя вектор рангов и эмпирические данные:

$$\begin{aligned}
 P_i &:= 1 \\
 RL &:= \overrightarrow{\ln(R)} \\
 YL &:= \overrightarrow{\ln(Y)}
 \end{aligned}$$

Вычисляем коэффициенты линейной регрессии при помощи метода наименьших квадратов матричным способом:

$$\begin{aligned}
 X &:= \text{augment}(P, RL) \\
 B &:= (X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X^T \cdot YL) \\
 B &= \begin{pmatrix} 19.764 \\ -0.747 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Получив значения коэффициентов регрессии, вычисляем их для первоначальной нелинейной функции и восстанавливаем зависимость:

$$w11 := \exp(B_1)$$

$$\beta_1 := -B_2$$

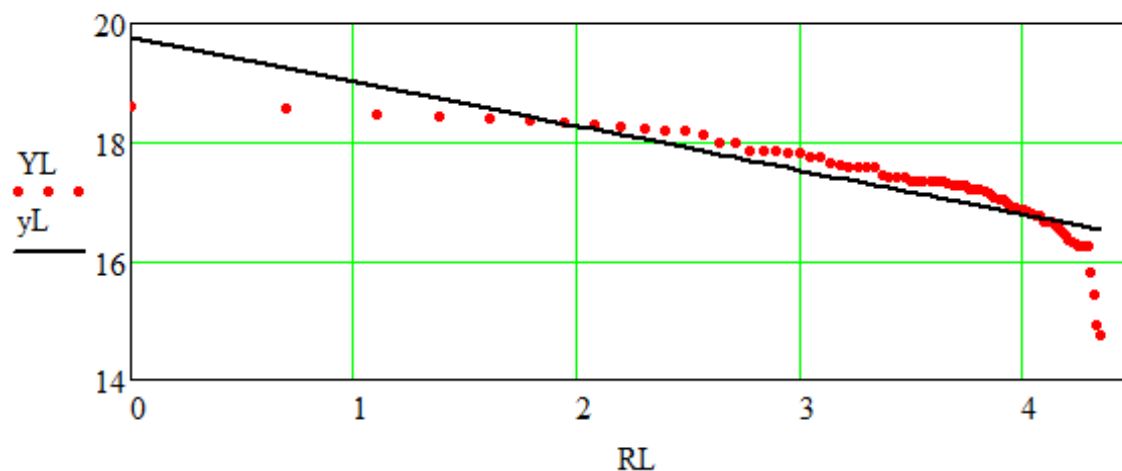
$$yL := B_1 + RL \cdot B_2$$

$$w11 := 1.2 \cdot 10^7$$

$$\beta_1 = 0.747$$

$$y2 := \frac{w11}{R^{\beta_1}}$$

Строим линеаризованные графики.



### Метод наименьших квадратов

Суть метода заключается в отыскании параметров аналитической зависимости, которые минимизируют сумму квадратов отклонений эмпирических значений (реально полученных в ходе рангового анализа) от значений, рассчитанных по аппроксимационной зависимости. Ниже приводится текст подпрограммы, которая вычисляет коэффициенты регрессии. Входными аргументами функции T являются вектора параметрического распределения V (для одного временного интервала) и рангов R.

$$\begin{array}{l}
 \underline{T}(W, r) := \left| \begin{array}{l}
 n \leftarrow \text{длина}(W) \\
 \frac{\sum_{i=1}^n \ln(W_i) \cdot \sum_{i=1}^n \ln(r_i) - n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(W_i) \cdot \ln(r_i))}{\left( \sum_{i=1}^n \ln(r_i) \right)^2 - n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(r_i))^2} \\
 \beta \leftarrow \frac{\quad}{\quad} \\
 W1 \leftarrow \exp \left[ \frac{1}{n} \cdot \left( \sum_{i=1}^n \ln(W_i) + \beta \cdot \sum_{i=1}^n \ln(r_i) \right) \right] \\
 WW \leftarrow \text{stack}(\beta, W1) \\
 WW
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

$$T(V^{(1)}, R) = \begin{pmatrix} 0.787 \\ 3.916 \times 10^8 \end{pmatrix}$$

$$T(V^{(2)}, R) = \begin{pmatrix} 0.789 \\ 3.813 \times 10^8 \end{pmatrix}$$

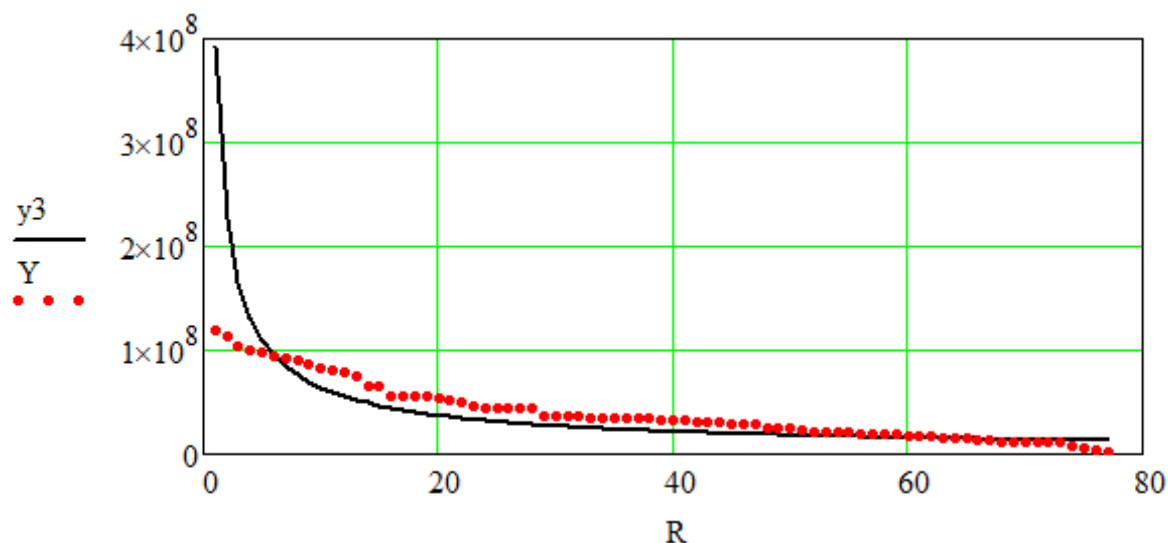
При необходимости вычислить коэффициенты регрессии для всех распределений за рассматриваемый интервал времени, можно применить следующую подпрограмму:

$$\underline{H}(Z) := \left| \begin{array}{l}
 j \leftarrow 1 \\
 \text{while } j < \text{cols}(V) + 1 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 X^{(j)} \leftarrow Z(V^{(j)}, R) \\
 j \leftarrow j + 1
 \end{array} \right. \\
 X
 \end{array} \right.$$

$$\beta := (H(T)^T)^{(1)}$$

$$W1 := (H(T)^T)^{(2)}$$

$$y\beta := \frac{W1_1}{R^{\beta_1}}$$



Примечательно, что оба метода наименьших квадратов (линейный и нелинейный) дали очень близкие результаты аппроксимационных параметров. Это позволяет в дальнейшем при сравнении с методом наименьших модулей использовать только нелинейный метод.

Полученные данные необходимо сохранить в файле:



Koef.xls

$H(T)^T$

### Оценивание результатов аппроксимации

С целью выбора наиболее эффективного метода аппроксимации полученные выше результаты статистически сравниваются. Для этого оценивается истинная ошибка:

$$\epsilon_1 := Y - y_1$$

$$\epsilon_2 := Y - y_2$$

$$\max \left( \overrightarrow{|\epsilon_1|} \right) = 8.353 \times 10^7$$

$$\max \left( \overrightarrow{|\epsilon_2|} \right) = 1.075 \times 10^8$$

$$\sum_{i=1}^n \left( \overrightarrow{|\epsilon_1|} \right)_i = 6.87 \times 10^8$$

$$\sum_{i=1}^n \left( \overrightarrow{|\varepsilon_2|} \right)_i = 2.987 \times 10^9$$

$$\varepsilon_{otn1} := \overrightarrow{[\varepsilon_1 \cdot (Y^{-1})]}$$

$$\varepsilon_{otn2} := \overrightarrow{[\varepsilon_2 \cdot (Y^{-1})]}$$

$$МНМ := \sum_{i=1}^n \left( \overrightarrow{|\varepsilon_{otn1}|} \right)_i$$

$$МНК := \sum_{i=1}^n \left( \overrightarrow{|\varepsilon_{otn2}|} \right)_i$$

$$МНМ = 40.61$$

$$МНК = 74.276$$

$$\text{corr}(Y, y_1) = 0.884$$

$$\text{corr}(Y, y_2) = 0.797$$

В данном случае есть основания признать более корректным метод наименьших квадратов (значение переменной МНК существенно меньше МНМ). Результирующая аппроксимационная зависимость определяется средствами Mathcad с использованием подпрограммы:

$$\text{REZ}(x, y, z, c) := \begin{cases} z & \text{if } x < y \\ c & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$W := \text{REZ}(МНМ, МНК, m_1, W_{11})$$

$$\beta := \text{REZ}(МНМ, МНК, m_2, \beta_1)$$

Таким образом, получаем наилучшие параметры:

$$W = 2.03 \times 10^8$$

$$\beta = 0.502$$

для аппроксимационной зависимости:

$$W(r) := \frac{W}{r^\beta}$$

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

В результате проведенных выше операций были получены четыре слоя годовых данных по электропотреблению: сырых, верифицированных, ранжированных и аппроксимированных. Для того чтобы определить, какой из них лучше всего подходит для управления электропотреблением, реализуем процедуру прогнозирования с использованием компьютерной программы «Структурно-параметрическое прогнозирование ресурсопотребления». Ниже представлен интерфейс данной программы.

Импорт данных Проверка

Таблицы первичных данных:  
Таблица исходных данных

Параметры прогноза

Временные отсчёты с:   
по:

Степень полинома: 1

Горизонт:

Тип структурного прогноза

без ранговой динамики  
 по среднему отображению  
 рекуррентный

Построить прогноз

Список прогнозных данных:

Таблица исходных данных (первичные).

Объ...	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub>
1	66026...	6142...	6331...	6266...	5990...	7988...	7981...	7686...
2	37455...	3775...	8712...	8932...	6581...	1206...	8560...	8399...
3	20050...	2403...	9332...	9156...	8956...	6939...	2852...	3181...
4	21188...	2323...	2461...	2317...	2519...	1138...	2278...	2288...
5	43640...	5622...	6736...	7886...	8146...	6057...	5386...	5441...
6	21518...	2203...	2384...	2530...	2549...	7686...	1194...	1182...
7	43840...	5552...	8086...	8146...	8146...	3638...	6551...	6966...
8	15939...	1632...	2149...	2025...	1993...	2675...	2103...	2181...
9	16146...	1628...	1944...	1875...	1847...	5120...	1815...	1800...
10	14618...	1688...	2297...	2459...	3159...	2037...	3031...	3376...
11	31755...	2860...	3064...	2996...	2722...	1955...	3086...	3145...
12	34122...	2901...	5780...	6140...	7071...	3486...	6442...	6403...
13	17191...	2296...	2299...	2299...	2299...	3509...	3860...	3521...
14	56208...	5304...	5981...	6171...	6372...	6698...	6646...	6744...
15	92415...	1020...	1090...	1092...	9225...	4267...	1209...	1254...
16	54890...	5527...	6283...	6346...	6236...	6827...	6467...	6589...
17	21474...	2225...	2638...	2860...	2914...	7002...	2934...	2846...
18	54156...	5286...	5567...	5735...	6045...	3028...	6042...	6004...
19	29335...	3166...	4011...	4521...	4632...	4725...	4338...	4380...
20	44607...	4632...	7343...	8673...	9553...	1046...	1027...	9104...

Для построения прогноза необходимо отметить обучающую выборку (откуда она начинается и где заканчивается), выбрать горизонт прогнозирования и степень полинома. Эти показатели влияют на достоверность проводимых операций. Степень влияния была выявлена во время выполнения лабораторных работ по дисциплине «Управление электропотреблением методами рангового анализа». Ниже представлены настройки данных параметров при выполнении прогнозирования для сырых данных.

Проверка прогноза

Обучающая выборка: с: 1 по: 14

Контрольная выборка на: 1 отсчётов вперёд.

Разделить данные

Степень полинома: 1

Тип структурного прогноза

без ранговой динамики

по среднему отображению

рекуррентный

Построить прогноз

Обучающие данные: Таблица данных

Контрольные данные: Таблица данных

Прогнозные данные: Таблица данных

Вывести ошибки

Сбросить параметры

Таблица данных (прогнозная)

Объ...	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub>	t <sub>9</sub>	t <sub>10</sub>	t <sub>11</sub>	...
1	6602...	6142...	6331...	6266...	5990...	7988...	7981...	7686...	7841...	8010...	7853...	79...
2	3745...	3775...	8712...	8932...	6581...	1206...	8560...	8399...	8282...	8399...	8118...	70...
3	2005...	2403...	9332...	9156...	8956...	6939...	2852...	3181...	2859...	2560...	2249...	20...
4	2118...	2323...	2461...	2317...	2519...	1138...	2278...	2288...	2336...	2777...	1877...	38...
5	4364...	5622...	6736...	7886...	8146...	6057...	5386...	5441...	5098...	4769...	4850...	42...
6	2151...	2203...	2384...	2530...	2549...	7686...	1194...	1182...	1255...	1204...	1202...	17...
7	4384...	5552...	8086...	8146...	8146...	3638...	6551...	6966...	6621...	7314...	7311...	80...
8	1593...	1632...	2149...	2025...	1993...	2675...	2103...	2181...	2205...	2196...	2186...	27...
9	1614...	1628...	1944...	1875...	1847...	5120...	1815...	1800...	1703...	1808...	1751...	17...
10	1461...	1688...	2297...	2459...	3159...	2037...	3031...	3376...	2993...	2746...	3050...	32...
11	3175...	2860...	3064...	2996...	2722...	1955...	3086...	3145...	2921...	2672...	2480...	29...
12	3412...	2901...	5780...	6140...	7071...	3486...	6442...	6403...	6202...	6291...	6492...	62...
13	1719...	2296...	2299...	2299...	2299...	3509...	3860...	3521...	3463...	3577...	3731...	38...
14	5620...	5304...	5981...	6171...	6372...	6698...	6646...	6744...	6740...	6486...	6120...	58...
15	9241...	1020...	1090...	1092...	9225...	4267...	1209...	1254...	1342...	1377...	1415...	14...
16	5489...	5527...	6283...	6346...	6236...	6827...	6467...	6589...	7284...	6824...	7169...	71...
17	2147...	2225...	2638...	2860...	2914...	7002...	2934...	2846...	2867...	2741...	2823...	28...
18	5415...	5286...	5567...	5735...	6045...	3028...	6042...	6004...	6221...	5782...	4517...	42...
19	2933...	3166...	4011...	4521...	4632...	4725...	4338...	4380...	4178...	4003...	4168...	41...
20	4460...	4632...	7343...	8673...	9553...	1046...	1027...	9104...	9933...	1024...	9870...	17...
21	3686...	4090...	5539...	5357...	4579...	6227...	5598...	4858...	4960...	4577...	4143...	38...
22	2180...	2382...	2411...	2473...	2145...	2655...	2229...	2333...	2581...	2306...	1863...	20...
23	4667...	4866...	6070...	6869...	6479...	7506...	7605...	7917...	8203...	8401...	9274...	92...
24	5112...	4543...	5613...	5593...	5623...	7072...	6309...	7025...	6998...	7278...	7221...	72...
25	5059...	5281...	6808...	7241...	6928...	8385...	8077...	8056...	9106...	8725...	9630...	92...
26	3122...	3090...	3669...	3463...	3941...	3563...	3243...	3468...	3235...	3624...	3782...	38...
27	6484...	5634...	4608...	4539...	4519...	6391...	6476...	6870...	6957...	6708...	6474...	64...

Будем производить прогноз для каждого и четырех слоев данных и составлять таблицы с процентами ошибок: столбцы – степень полинома от 1 до 5, строки – горизонт прогнозирования от 1 до 7. Результаты операций для слоя сырых данных представлены ниже.

		СЫРЫЕ				
		Степень полинома				
		1	2	3	4	5
Горизонт прогнозирования	1	11,36	11,37	11,4	11,39	11,39
	2	8,15	8,22	8	7,995	8,02
	3	4,91	4,99	4,75	4,77	4,77667
	4	8,2175	8,2275	8,23	8,17	8,2075
	5	7,916	7,966	7,992	7,9	8,01
	6	9,935	9,945	9,88167	9,39833	9,63167
	7	9,74571	9,76143	9,66429	9,11857	9,42429

В результате было выявлено, что средняя ошибка при проведении прогнозирования для слоя сырых данных составляет 8,94 %. Аналогичные

действия были проведены с остальными слоями: верифицированных, ранжированных и аппроксимированных данных.

		ВЕРИФИЦИРОВАННЫЕ				
		Степень полинома				
		1	2	3	4	5
Горизонт прогнозирования	1	4,66	4,64	4,64	4,51	4,78
	2	10,04	9,82	10,06	9,985	10,205
	3	6,67667	6,43667	6,69	6,78	6,96667
	4	15,23	15,3625	14,655	14,3875	14,0425
	5	14,742	15,162	13,704	13,672	12,886
	6	10,875	10,96	10,035	9,50333	9,06167
	7	10,1343	10,1357	9,53857	8,47714	8,32429

Средняя ошибка для верифицированных данных – 9,94 %.

		РАНЖИРОВАННЫЕ				
		Степень полинома				
		1	2	3	4	5
Горизонт прогнозирования	1	4,31	4,28	4,1	4,15	4,48
	2	10,75	10,51	10,76	10,69	11,02
	3	7,69667	7,26667	7,62	7,72667	8,07333
	4	14,2675	14,38	13,6875	13,3375	12,7775
	5	13,53	13,9	12,496	12,27	11,132
	6	9,44667	9,46333	8,73667	8,77667	7,37667
	7	8,32857	8,29429	7,77429	6,46	6,42571

Средняя ошибка для ранжированных данных – 9,32 %.

		АППРОКСИМИРОВАННЫЕ				
		Степень полинома				
		1	2	3	4	5
Горизонт прогнозирования	1	8,23	8,24	7,43	7,59	7,21
	2	15,675	15,565	15,345	15,69	15,66
	3	10,37	10,3233	10,0567	10,1567	9,96667
	4	7,9525	7,8975	8,2875	8,0175	8,445
	5	8,176	8,104	7,514	7,518	6,854
	6	6,29667	6,33167	6,60167	6,52167	6,87833
	7	5,36857	5,29143	5,47286	5,33714	5,71571

Средняя ошибка для аппроксимированных данных – 8,75 %.

В результате проведенного сравнительного анализа четырех слоев годовых данных по электропотреблению (сырых, верифицированных, ранжированных и аппроксимированных) удалось установить, что наилучшие прогностические свойства демонстрирует слой аппроксимированных данных. Таким образом, это свидетельствует о целесообразности на данном временном интервале именно его использовать в процедурах управления электропотреблением рассматриваемого РЭК.

## РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ

### Создание таблицы «Характеристики владельца»

```
CREATE TABLE [Характеристики владельца] (
    [id-владельца] INT IDENTITY(1,1) PRIMARY KEY,
    [наименование] NVARCHAR(100) NOT NULL
);
GO
```

id-владельц...	наименование
1	АО «Янтарьэнерго»
2	ПАО «ФСК ЕЭС»
3	КЖД филиал ОАО «РЖД»
4	ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть»
5	АО «Региональная энергетическая компания»
6	ООО «БалтТехПром»
7	АО «Западная энергетическая компания»
8	ООО «Лесобалт»
9	ООО «Вальдау»
10	ООО «Макро-Макс Плюс»
11	ЗАО «Агропродукт»
12	Филиал Калининградский АО «Оборонэнерго»
13	ООО «Мегаполис»
14	АО «Калининградский янтарный комбинат»
NULL	NULL

В таблице представлены две основные колонки: id-владельца – уникальный идентификатор записи (первичный ключ), наименование – название организации-владельца. В таблицу уже внесены записи с идентификаторами от 1 до 14. Каждая строка соответствует отдельной организации.

### Создание таблицы «Характеристики подстанции»

```
CREATE TABLE [Характеристики подстанции] (
    [id-подстанции] INT IDENTITY(1,1) PRIMARY KEY,
    [наименование] NVARCHAR(50) NOT NULL,
    [класс] NVARCHAR(10) NOT NULL,
    [шифр] NVARCHAR(5),
    [id-владельца] INT NOT NULL
);
GO
```

id-подстан...	наименов...	класс	шифр	id-владель...
1	Центральн...	ПС 330 кВ	О-1	1
2	Янтарь	ПС 110 кВ	О-2	1
3	Знаменск	ПС 110 кВ	О-3	1
4	Приморск	ПС 60 кВ	О-7	1
5	Янтарное	ПС 110 кВ	О-8	1
6	Светлогорск	ПС 110 кВ	О-9	1
7	Зеленоград...	ПС 110 кВ	О-10	1
8	Ленинград...	ПС 110 кВ	О-11	1
9	Южная	ПС 110 кВ	О-12	1
10	Енино	ПС 110 кВ	О-13	1
11	Мамоново	ПС 110 кВ	О-14	1
12	Рыбный по...	ПС 110 кВ	О-17	1
13	Озерки	ПС 110 кВ	О-18	1
14	Полесск	ПС 110 кВ	О-19	1
15	Гурьевск	ПС 110 кВ	О-24	1
16	Муромская	ПС 110 кВ	О-27	1
17	Московская	ПС 110 кВ	О-30	1
18	Багратион...	ПС 110 кВ	О-31	1
19	Правдинск	ПС 110 кВ	О-34	1
20	Космодемь...	ПС 110 кВ	О-35	1
21	Ладушкин	ПС 110 кВ	О-39	1
22	Железнодоро...	ПС 110 кВ	О-41	1
23	Северная-1...	ПС 110 кВ	О-42	1
24	Борисово	ПС 110 кВ	О-47	1
25	Молокозав...	ПС 110 кВ	О-48	1
26	Люблино	ПС 110 кВ	О-49	1

В таблице представлены основные колонки: id-подстанции – уникальный идентификатор записи (первичный ключ), наименование – название подстанции, класс – тип и уровень напряжения подстанции, шифр – условное обозначение объекта, id-владельца – внешний ключ, указывающий на владельца. В таблицу уже внесены записи с идентификаторами от 1 до 77, каждая строка соответствует отдельной подстанции.

## Создание таблицы «Сырые данные»

```

CREATE TABLE [Сырые данные] (
    [id-подстанции] INT IDENTITY(1,1) PRIMARY KEY,
    [2008] FLOAT,
    [2009] FLOAT,
    [2010] FLOAT,
    [2011] FLOAT,
    [2012] FLOAT,
    [2013] FLOAT,
    [2014] FLOAT,
    [2015] FLOAT,
    [2016] FLOAT,
    [2017] FLOAT,
    [2018] FLOAT,
    [2019] FLOAT,
    [2020] FLOAT,
    [2021] FLOAT,
    [2022] FLOAT
);

BULK INSERT [Сырые данные]
FROM 'C:\Users\User\Desktop\Сырые_данные.txt'
WITH (
    FIRSTROW = 1,
    FIELDTERMINATOR = ' ',
    ROWTERMINATOR = '\n',
    CODEPAGE = '65001'
);
GO

```

id-подстан...	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	66026606,7	61423888	63319435	62661141,5	59906545	79888692	79815895	76866903	78418071	80102859
2	37455840	37751380	87120683	89328749	65815036	120678490	85602317	83992248	82822806	83993917
3	20050720	24031894,6	93324788,06	91568659,6	89568659,87	69397020	28529460	31816440	28595980	25606950
4	21188250	23236754	24619154	23172174	25195733	113807295	22785960	22887120	23367840	27774000
5	43640977,5	56220810	67363158	78867737,11	81467738,11	60571710	53868852	54410616	50985204	47694525
6	21518250	22036754	23849154	25302174	25495733	76868301	119458785	118235145	125538520	120493147
7	43840977,5	55520810	80860158	81467738,11	81467738,11	36380699	65512080	69665400	66210480	73147725
8	159390832	163261132	214996640	202566600	199347020	26758879	210379000	218140400	220592400	219677370
9	161467868	162844424	194473930	187574526	184773966,2	51200562	181526038	180030761	170363358	180853760
10	14618471,5	16889700	22979398	24591892,67	31592604	203736678	30313620	33762420	29936011	27461424
11	31755683	28600019	30646448	29963763	27223881,3	195517081	30869724	31453888	29214046	26725804
12	34122944	29019300	57805146	61407677	70711000	34864874	64421000	64035000	62026000	62913570
13	17191366,8	22966431	22992960,5	22992960,5	22992960,5	35097345	38605046	35218979	34638861	35772121
14	56208825	53048926	59816450	61717290	63725968	66981000	66468000	67448520	67400796	64862262
15	92415377	102079466	109001485	109250124	92251147,89	42671091	120929540	125444504	134217432	137792435
16	54890537,4	55277486	62836087	63467595,5	62369690	68271901	64675452	65899600	72842316	68245726
17	214743629,2	222506977	263804200	286096855	291402215,7	70028232	293431560	284636880	286710780	274151880
18	54156800,1	52866498	55672648	57350679	60450679	302831652	60425190	60041520	62218141	57828432
19	29335546,4	31666450	40112270	45212270	46328505	47250939	43388280	43809960	41780304	40036993
20	44607658	46324512	73430098,5	86730098,5	95530098,5	104644624	102780375	91044340	99337001	102447360
21	20050720	24031894,6	93324788,06	91568659,6	89568659,87	69397020	28529460	31816440	28595980	25606950

## Создание таблицы «Верифицированные данные»

```
CREATE TABLE [Верифицированные данные] (  
    [id-подстанции] INT IDENTITY(1,1) PRIMARY KEY,  
    [2008] FLOAT,  
    [2009] FLOAT,  
    [2010] FLOAT,  
    [2011] FLOAT,  
    [2012] FLOAT,  
    [2013] FLOAT,  
    [2014] FLOAT,  
    [2015] FLOAT,  
    [2016] FLOAT,  
    [2017] FLOAT,  
    [2018] FLOAT,  
    [2019] FLOAT,  
    [2020] FLOAT,  
    [2021] FLOAT,  
    [2022] FLOAT  
);  
  
BULK INSERT [[Верифицированные данные]]  
FROM 'C:\Users\User\Desktop\[Верифицированные_данные.txt]'  
WITH (  
    FIRSTROW = 1,  
    FIELDTERMINATOR = ' ',  
    ROWTERMINATOR = '\n',  
    CODEPAGE = '65001'  
);  
GO
```

id-подстан...	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	64364474	64161742,63	66026608,52	61423889,25	63319436,48	62661142,95	59906545,15	79888694,05	79815896,87	76866905,61	7841
2	43395368,6	25049339,46	25644719,44	1,168860751	87120685,77	89328750,8	65815037,29	1,204610329	85602318,43	83992250,61	8282
3	5840458,178	1948231,512	20050718,81	24031894,63	93324790,23	91568661,32	89568660,68	69397022,11	28529462,85	31816442,34	2859
4	19671154,98	18221634,48	21188252,56	23236756,81	24619155,98	23172176,31	25195735,18	2,471305123	22785961,48	22887121,23	2336
5	40774197,29	41859209,59	43640979,98	56220812,04	67363160,29	78867739,54	81467740,26	60571711,25	53868852,22	54410619,55	5098
6	20993343,7	20324400,45	21518250,54	22036755,43	23849156,07	25302175,34	25495734,64	76868303,59	119458787,2	118235147,4	1255
7	54014632,2	49867336,26	43840980,87	55520812,16	80860158,89	81467738,98	81467739,03	2,305467312	65512081,56	69665403,43	6621
8	31530181,4	32290314,23	34122944	31390310,94	30646448,85	30563014,51	35609022,84	26758879,63	38605048,47	34689881,89	3359
9	30757249,1	31620751,63	34122946,22	31390310,07	30646450,91	30563015,02	35609024,99	2,286122097	38605047,24	34689884,51	3359
10	13321434,77	12724230,01	14618473,55	16889702,96	22979399,37	24591894	31592605,05	35910106,21	30313620,87	33762420,62	2993
11	30076747,66	30651089,29	31755685,35	28600021,27	30646449,81	29963764,5	27223883,32	35910105,17	30869724,97	31453890,87	2921
12	22530228,89	19322365,95	30057132,24	2,393548382	57805147,77	61407678,83	70711002,15	2,950337489	64421004,15	64035002,08	6202
13	15850600,8	17353496,48	17191368,48	22966433,1	22992962,23	22992963,38	22992962,04	35097349,09	38605045	35218981,96	3463
14	54164571,58	55178716,48	56208828,28	53048927,16	59816452,56	61717292,55	63725969,12	66981001,31	66468001,39	67448521,62	6740
15	97324825,34	93319844,57	92415377,28	102079468,1	109001487,5	109250127,8	92251150,68	42671091,11	120929540,5	125444508,6	1342
16	5688813,22	55625237,7	54890540,04	55277488,84	62836087,83	63467597,55	62369693,77	68271903,03	64675453,64	65899601,5	7284
17	30757249,08	31620750,86	34122944,39	31390309,72	30646451,85	30563013	35609024,87	1,861895237	38605046,77	34689884,8	3359
18	53129008,09	52939577,33	54156801,35	52866501,04	55672650,89	57350680,63	60450679,02	35910105,74	60425189,02	60041521,73	6221
19	7298836,391	8136487,189	11267329,46	0,800718049	40112271,42	45212271,66	46328506,84	47250939,93	43388281,69	43809961,61	4178
20	13404349,34	16854861,71	24673235,9	1,004957454	73430101,9	86730102,17	95530100,12	104644625,7	102780376,9	91044342,2	9933
21	43889839,35	43721031,97	36866359,07	40907021,45	55397944,06	53573253,1	45798258,95	62276172,72	55987778,02	48584739,96	4960
22	23196175,19	23176417,56	21809950,46	23823066,43	24118894,8	24733388,71	21450649,77	26557410,27	22297441,97	23333762,4	2581
23	44708108,47	44132756,68	46675600,5	48661754,02	60702668,2	68690670,25	64790670,57	75063672,99	76053953,8	79179482,65	8203

## Создание таблицы «Ранжированные данные»

```

CREATE TABLE [Ранжированные данные] (
    [id-подстанции] INT PRIMARY KEY,
    [2008] FLOAT,
    [2009] FLOAT,
    [2010] FLOAT,
    [2011] FLOAT,
    [2012] FLOAT,
    [2013] FLOAT,
    [2014] FLOAT,
    [2015] FLOAT,
    [2016] FLOAT,
    [2017] FLOAT,
    [2018] FLOAT,
    [2019] FLOAT,
    [2020] FLOAT,
    [2021] FLOAT,
    [2022] FLOAT
);

BULK INSERT [Ранжированные данные]
FROM 'C:\Users\User\Desktop\Ранжированные_данные.txt'
WITH (
    FIRSTROW = 1,
    FIELDTERMINATOR = ' ',
    ROWTERMINATOR = '\n',
    CODEPAGE = '65001'
);
GO

```

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
35031988,72	33311508,66	36866359,07	34089112,12	46088804,5	50544518,79	46328506,84	35910106,19	53868852,22	49532244,49
13321434,77	14791050,98	16901701,39	14198502,62	13263954,79	13233301,08	17543313,71	723012,7958	20781846,49	19893003,25
40774197,29	41201083,93	43511482,75	39330080,28	55079138,49	53573253,1	55111345,15	40345193,59	58351465,29	58429643,42
63998869,72	55835786,85	64842048,52	56220812,04	68080029,45	69954306,81	69882310,23	68271903,03	76053953,8	76866905,61
23340249,84	23176417,56	25644719,44	24031894,63	22992962,23	23172176,31	27223883,32	18336702,51	30313620,87	30379028,36
12569986,05	12724230,01	14618473,55	10193534,95	10408098,48	11977109,68	14567235,99	2,950337489	16604161,41	14632921,21
23196175,19	22664779,22	24943502,34	23823066,43	22979399,37	22992963,38	25495734,64	17533712,87	29796360,73	30089113,84
22530228,89	20324400,45	24673235,9	23236756,81	22164549,02	22114167,2	25195735,18	17198859,01	28529462,85	29980321,45
15850600,8	16854861,71	19121021,93	16833109,92	16429960,18	15729749,67	21726724,95	6248879,494	24294061,28	22463522,42
23775873,61	23615206,48	27977327,01	24184720,18	23849156,07	24591894	28000592,19	19355790,21	30869724,97	31453890,87
20901062,97	19322365,95	21809950,46	22036755,43	20456067,66	21145997,97	24337550,76	15789663,16	27944547,37	27393662,81
10594062,92	11353343,47	12193569,14	8005712,848	8833002,85	7679527,788	12111802,56	2,471305123	14578802,52	10167122,76
43395368,6	41859209,59	43640979,98	40907021,45	55397944,06	55018943,96	56239632,76	42671091,11	60425189,02	60041521,73
106475547,2	105462877	119497074,9	105801413,6	111184282,6	132414285,4	131894279,8	116441401,7	122725500,6	125444508,6
2301212,434	1948231,512	2520961,05	0,800718049	1,737097912	1,213102432	1076034,057	0,584440746	1567801,632	971642,0353
29971450,68	29196179,68	31755685,35	28600021,27	30646449,4	30563013,61	35609023,12	26758879,63	38605046,77	34689884,51
58219504,22	55625237,7	56488544,59	55520812,16	67363160,29	68690670,25	69283331,93	66981001,31	71879911,4	73734569,2
64364474	58462433,87	66026608,52	56344113,55	68921145,44	71143001,35	70711002,15	69397022,11	79815896,87	79179482,65
80444044,24	78449204,67	92415377,28	86521347,12	80860158,89	86730102,17	89008486,91	76868303,59	90764457,66	91044342,2
54164571,58	54024884,32	56163641,97	54401873,94	62836087,83	63467597,55	65815037,29	63914131,65	68968281,78	70258080,59
16586079,13	17139020,03	19482863,89	16889702,96	16670002,2	16957817	21955211,06	7000512,157	25747501,64	22670532,77
44425961,23	43721031,97	43840980,87	42657150,13	56139634,38	57350680,63	60450679,02	50678855,11	64421004,15	64035002,08
44708108,47	44132756,68	44523813,43	45439370,14	57805147,77	59837011,74	61767466,33	57566179,9	64675453,64	65899601,5
47849751,75	48823747,7	46675600,5	48661754,02	58011004,38	60134011,6	62369693,77	58400265,11	64761401,56	67448521,62

## Создание таблицы «Аппроксимированные данные»

```

CREATE TABLE [Аппроксимированные данные] (
    [id-подстанции] INT PRIMARY KEY,
    [2008] FLOAT,
    [2009] FLOAT,
    [2010] FLOAT,
    [2011] FLOAT,
    [2012] FLOAT,
    [2013] FLOAT,
    [2014] FLOAT,
    [2015] FLOAT,
    [2016] FLOAT,
    [2017] FLOAT,
    [2018] FLOAT,
    [2019] FLOAT,
    [2020] FLOAT,
    [2021] FLOAT,
    [2022] FLOAT
);

BULK INSERT [Аппроксимированные данные]
FROM 'C:\Users\User\Desktop\Аппроксимированные_данные.txt'
WITH (
    FIRSTROW = 1,
    FIELDTERMINATOR = ' ',
    ROWTERMINATOR = '\n',
    CODEPAGE = '65001'
);
GO
    
```

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
36789437	34020086	36199812	36199812	40225573	33204184	43348333	40429326	39082144	41028089	41944769
25550032	23291310	24681221	24681221	28708717	22895611	30368080	28310142	26781670	28000499	29899630
38086490	35267395	37541809	37541809	41535980	34398229	44839553	41821954	40511495	42545131	43316144
52107851	48847769	52183427	52183427	55510349	47352320	60890057	56814717	56066705	59088448	57949463
29054421	26619751	28249494	28249494	32333979	26101717	34427591	32099749	30598944	32037621	33689592
24950846	22723935	24073499	24073499	28085265	22348260	29672695	27661054	26130839	27312783	29248020
28755109	26334823	27943836	27943836	32025679	25827571	34081343	31776499	30272217	31691855	33367224
28464835	26058609	27647560	27647560	31726458	25561757	33745468	31462937	29955476	31356693	33054360
26420272	24116275	25565139	25565139	29612262	23691016	31377346	29252248	27727911	29000690	30844072
29363249	26913859	28565038	28565038	32651833	26384637	34784758	32433199	30936188	32394561	34021962
27909649	25530624	27081322	27081322	31153522	25053502	33102836	30863006	29349998	30716110	32455330
24391820	22195069	23507174	23507174	27502588	21837827	29023558	27055154	25524147	26671873	28639074
38788499	35943181	38269114	38269114	42243819	35044821	45646145	42575243	41285858	43367243	44056980
203023805	200749138	217795798	217795798	195360815	189488313	229668676	214664382	229624883	245718144	204864147
22915749	20800945	22015021	22015021	25959197	20491179	27307827	25453784	23924696	24983013	27026326
31447936	28902293	30699368	30699368	34791043	28295935	37193453	34682054	33216030	34808630	36259160
50446017	47229829	50436434	50436434	53870447	45812986	58993730	55043063	54214107	57115248	56231478
53944972	50638720	54117968	54117968	57318680	49055142	62984727	58771756	58117233	61273283	59844108
76406620	72709648	78013140	78013140	79098437	69957293	88472690	82591056	83374183	88245474	82678581
47548587	44413968	47397542	47397542	51001492	43131535	55683862	51950979	50989474	53682450	53226371
26652045	24336172	25800806	25800806	29852527	23902946	31646012	29503042	27980121	29267341	31095230
40317045	37416276	39855026	39855026	43781770	36453494	47401211	44214387	42973713	45159751	45666778
41152123	38221992	40722737	40722737	44620134	37223528	48359367	45109290	43896823	46140421	46544393

Полученные значения при прогнозировании заносятся в базу данных, где для каждого прогноза фиксируются соответствующие показатели ошибки. В дальнейшем эти данные используются для сравнения изменений ошибок в процентном выражении. Это позволяет отследить динамику качества прогнозирования, выявить влияние применяемых методов обработки данных и оценить эффективность используемых моделей.

Таким образом, сохранение и последующее сравнение процентных изменений ошибок обеспечивает основу для объективной оценки улучшений или ухудшений точности прогнозирования.

### Создание таблицы «Ошибки сырые данные»

```

CREATE TABLE [Ошибки Сырые данные] (
    [горизонт прогнозирования] INT,
    [полином 1] FLOAT,
    [полином 2] FLOAT,
    [полином 3] FLOAT,
    [полином 4] FLOAT,
    [полином 5] FLOAT
);
GO

```

горизонт ...	полином 1	полином 2	полином 3	полином 4	полином 5
1	11,36	11,37	11,4	11,39	11,39
2	8,15	8,22	8	7,995	8,02
3	4,91	4,99	4,75	4,77	4,77667
4	8,2175	8,2275	8,23	8,17	8,2075
5	7,916	7,966	7,9992	7,9	8,01
6	9,935	9,945	9,88167	9,39833	9,63167
7	9,74571	9,76143	9,66429	9,11857	9,42429

### Создание таблицы «Ошибки верифицированные данные»

```

CREATE TABLE [Ошибки Верифицированные данные] (
    [горизонт прогнозирования] INT,
    [полином 1] FLOAT,
    [полином 2] FLOAT,
    [полином 3] FLOAT,
    [полином 4] FLOAT,
    [полином 5] FLOAT
);
GO
    
```

горизонт ...	полином 1	полином 2	полином 3	полином 4	полином 5
1	4,66	4,64	4,64	4,51	4,78
2	10,04	9,82	10,06	9,985	10,205
3	6,67667	6,43667	6,69	6,78	6,96667
4	15,23	15,3625	14,655	14,3875	14,0425
5	14,742	15,162	13,704	13,672	12,886
6	10,875	10,96	10,035	9,50333	9,06167
7	10,1343	10,1357	9,53857	8,47714	8,32429

### Создание таблицы «Ошибки ранжированные данные»

```
CREATE TABLE [Ошибки Ранжированные данные] (
    [горизонт прогнозирования] INT,
    [полином 1] FLOAT,
    [полином 2] FLOAT,
    [полином 3] FLOAT,
    [полином 4] FLOAT,
    [полином 5] FLOAT
);
GO
```

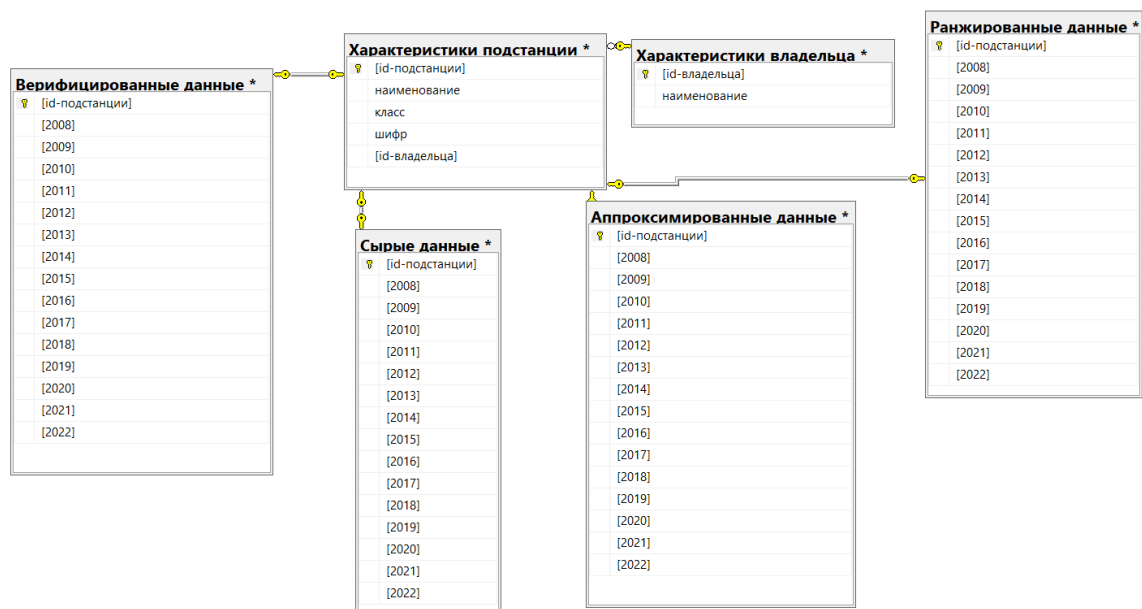
горизонт ...	полином 1	полином 2	полином 3	полином 4	полином 5
1	4,31	4,58	4,1	4,15	4,48
2	10,75	10,51	10,76	10,69	11,02
3	7,69667	7,26667	7,62	7,72667	8,07333
4	14,2675	14,38	13,6875	13,3375	12,7775
5	13,53	13,9	12,496	12,27	11,132
6	9,44667	9,46333	8,73667	8,77667	7,37667
7	8,32857	8,29429	7,77429	6,46	6,42571

### Создание таблицы «Ошибки аппроксимированные данные»

```
CREATE TABLE [Ошибки Аппроксимированные данные] (
    [горизонт прогнозирования] INT,
    [полином 1] FLOAT,
    [полином 2] FLOAT,
    [полином 3] FLOAT,
    [полином 4] FLOAT,
    [полином 5] FLOAT
);
GO
```

горизонт ...	полином 1	полином 2	полином 3	полином 4	полином 5
1	8,23	8,24	7,43	7,59	7,21
2	15,675	15,565	15,345	15,69	15,66
3	10,37	10,3233	10,0567	10,1567	9,96667
4	7,9525	7,8975	8,2875	8,0175	8,445
5	8,176	8,104	7,514	7,518	6,854
6	6,29667	6,33167	6,60167	6,52167	6,87833
7	5,36857	5,29143	5,47286	5,33714	5,71571

### Создание связей между таблицами



### Примеры запросов для базы данных

Задача: Вывести для каждого владельца его подстанции и показать, как менялся их ранг с 2018 по 2022 годы. Для каждой подстанции показать наименование, владельца, и значения ранга по годам. Данные отсортировать по владельцу и среднему рангу за этот период.

```

SELECT
    вл.наименование AS владелец,
    пс.наименование AS подстанция,
    пс.класс,
    p.[2018] AS ранг_2018,
    p.[2019] AS ранг_2019,
    p.[2020] AS ранг_2020,
    p.[2021] AS ранг_2021,
    p.[2022] AS ранг_2022,
    (p.[2018] + p.[2019] + p.[2020] + p.[2021] + p.[2022]) / 5.0 AS средний_ранг
FROM [Характеристики подстанции] пс
INNER JOIN [Характеристики владельца] вл
    ON пс.[id-владельца] = вл.[id-владельца]
LEFT JOIN [Ранжированные данные] p
    ON пс.[id-подстанции] = p.[id-подстанции]
WHERE
    p.[2018] IS NOT NULL
    OR p.[2019] IS NOT NULL
    OR p.[2020] IS NOT NULL
    OR p.[2021] IS NOT NULL
    OR p.[2022] IS NOT NULL
ORDER BY
    вл.наименование,
    средний_ранг;
    
```

Результат выполнения запроса:

	владелец	подстанция	класс	ранг_2018	ранг_2019	ранг_2020	ранг_2021	ранг_2022	средний_ранг
1	АО «Западная энергетическая компания»	Ижевская	ПС 110 кВ	25816370,86	26046135,1	25884447,01	17347353,77	18545417,7	22727944,888
2	АО «Западная энергетическая компания»	Пионерская	ПС 110 кВ	31347063,38	32763291,5	31963915,52	26195818,99	26694629,52	29792943,782
3	АО «Западная энергетическая компания»	Прибрежная	ПС 110 кВ	69982875,81	73147727,42	73110095,48	58447012,7	54710744,57	65879691,196
4	АО «Западная энергетическая компания»	Луговая	ПС 110 кВ	72342786,74	74785126,61	77012791,34	61976120,76	59609231,48	69145211,386
5	АО «Калининградский янтарный комбинат»	Карьер	ПС 60 кВ	28595982,01	26873522,96	27414922,95	20833735,15	20570519,48	24857736,51
6	АО «Региональная энергетическая компания»	Родники	ПС 110 кВ	8156800,902	8335624,755	10322153,34	3881042,835	5298756,38	7198875,6424
7	АО «Региональная энергетическая компания»	Авиационная	ПС 110 кВ	21731176,73	21390524,26	18771120,59	12803690,31	14905681,72	17920438,722
8	АО «Региональная энергетическая компания»	Тильзит	ПС 110 кВ	32358816,19	32982791,59	35143688,18	26638621,66	28132488,42	31051281,208
9	АО «Региональная энергетическая компания»	Невская	ПС 110 кВ	33597469,86	35106862,95	36585707,68	31810096,64	30829109,23	33585849,4272
10	АО «Региональная энергетическая компания»	Юго-Восточная	ПС 110 кВ	34638865,4	36241171,48	37828000,24	31810098,08	31250496,08	34353726,256
11	АО «Региональная энергетическая компания»	Промышленная	ПС 110 кВ	40900690,6	41978246,53	41686892,71	32509820,73	31671882,27	37749506,568
12	АО «Янтарьэнерго»	Гурьевск	ПС 110 кВ	978154,2317	855325,1499	864601,2765	1,619591267	0,877751927	539616,631088639
13	АО «Янтарьэнерго»	Черняховск	ПС 110 кВ	2745747,658	4111458,224	4208004,307	1028,855709	3,188618365	2213248,44666547
14	АО «Янтарьэнерго»	Правобережная	ПС 110 кВ	7076386,895	7232103,317	7487617,268	905281,3534	866999,2513	4713677,61694
15	АО «Янтарьэнерго»	Чистые пруды	ПС 110 кВ	8203414,585	9289402,097	11292963,39	7777377,413	7668956,582	8846422,8134
16	АО «Янтарьэнерго»	Черняховск-2	ПС 110 кВ	11984300,92	13132786,25	11987890,74	8607582,353	7716431,797	10685798,412
17	АО «Янтарьэнерго»	Рыбный порт	ПС 110 кВ	12345923,18	13786125,03	12348686,86	9444909,702	10373887,39	11659906,4324
18	АО «Янтарьэнерго»	Морская	ПС 110 кВ	14548536,42	14156915,42	12435249,92	9992312,4	10744432,68	12375489,368
19	АО «Янтарьэнерго»	Светлогорск	ПС 110 кВ	14881679,08	15817411,77	15777237,24	10993809,68	11990473,25	13892122,204
20	АО «Янтарьэнерго»	Северная 330	ПС 330 кВ	16370180,67	16006381,14	17542657,32	11354499,14	12671406,04	14789024,862
21	АО «Янтарьэнерго»	Лунино	ПС 110 кВ	17312041,66	16566875,39	17867771,97	11571916,12	13024165,95	15268554,218
22	АО «Янтарьэнерго»	Янтарь	ПС 110 кВ	20178899,79	20854635,38	18632917,33	12077299,8	13895014,17	17127753,294
23	АО «Янтарьэнерго»	Славск	ПС 110 кВ	23070679,63	23062467,78	19895994,7	13863147,75	15659382,62	19110334,496
24	АО «Янтарьэнерго»	Южная	ПС 110 кВ	23255812,9	23100834,08	22496643,55	14292677,04	16570095,18	19943212,55
25	АО «Янтарьэнерго»	Ладушкин	ПС 110 кВ	23367845,35	24870633,82	23745000,7	15074759,51	16691942,12	20750036,3
26	АО «Янтарьэнерго»	Добровольск	ПС 110 кВ	23754290,81	25567812,75	24809325,89	17086541,04	18003055,62	21844205,222
27	АО «Янтарьэнерго»	Гусев	ПС 110 кВ	25890560,5	26158915,18	26876218,1	17670840,65	19235178,85	23166342,656
28	АО «Янтарьэнерго»	Мамоново	ПС 110 кВ	28207997,83	26725807,15	27341659,88	19279346,23	19702606,41	24251483,5
29	АО «Янтарьэнерго»	Ленинградская	ПС 110 кВ	28600743,3	27449269,84	27945650,62	20928302,26	22456402,69	25476073,742
30	АО «Янтарьэнерго»	Зеленоградск	ПС 110 кВ	28899566,66	27461425,19	28865565,52	22069478,89	22652876,53	25989782,558
31	АО «Янтарьэнерго»	Янтарное	ПС 110 кВ	29214048,79	27774001,68	28987734,79	25379172,68	22894730,11	26849937,61
32	АО «Янтарьэнерго»	Енино	ПС 110 кВ	29936013,69	31321451,6	30502068,6	26019024,24	24569220,73	28469555,772
33	АО «Янтарьэнерго»	Советск	ПС 110 кВ	31654823,11	32876645,74	34876143,6	26283084,64	27586222,22	30655383,862

Задача: Для каждой подстанции показать наименование, класс, владельца, а также верифицированные и аппроксимированные значения за

2022 год, и рассчитать разницу между ними. Вывести подстанции, где оба значения присутствуют, отсортировав по величине отклонения.

```

SELECT
    пс.наименование AS подстанция,
    пс.класс,
    вл.наименование AS владелец,
    в.[2022] AS верифицировано_2022,
    а.[2022] AS аппроксимировано_2022,
    ABS(в.[2022] - а.[2022]) AS отклонение,
    CASE
        WHEN в.[2022] > а.[2022] THEN 'верифицированные выше'
        WHEN в.[2022] < а.[2022] THEN 'аппроксимированные выше'
        ELSE 'равны'
    END AS сравнение
FROM [Характеристики подстанции] пс
INNER JOIN [Характеристики владельца] вл
    ON пс.[id-владельца] = вл.[id-владельца]
INNER JOIN [Верифицированные данные] в
    ON пс.[id-подстанции] = в.[id-подстанции]
INNER JOIN [Аппроксимированные данные] а
    ON пс.[id-подстанции] = а.[id-подстанции]
WHERE
    в.[2022] IS NOT NULL
    AND а.[2022] IS NOT NULL
ORDER BY отклонение DESC;

```

Результат выполнения запроса:

	подстанция	класс	владелец	верифицировано_2022	аппроксимировано_2022	отклонение	сравнение
1	Полесск	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	54685243.42	211031130	156345886.58	аппроксимированные выше
2	Гурьевск	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	151279958.2	28524266	122755692.2	верифицированные выше
3	Восточная-1	ПС 110 кВ	ООО «Мегаполис»	15659382.62	127212634	111553251.38	аппроксимированные выше
4	Флотская	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	1167.512034	111421567	111420399.487966	аппроксимированные выше
5	Нивенская	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	2,244582235	92436100	92436097.7554178	аппроксимированные выше
6	Гвардейская	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	64601378.58	153340860	88739481.42	аппроксимированные выше
7	Советск	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	124433340.5	36533303	87900037.5	верифицированные выше
8	Светлогорск	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	118729874.6	30839873	87890001.6	верифицированные выше
9	Лесная	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	866999.2513	69913765	69046765.7487	аппроксимированные выше
10	Лесобалт	ПС 110 кВ	ООО «Лесобалт»	5298756.38	73052127	67753370.62	аппроксимированные выше
11	Гусев	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	99980598.02	33880443	66100155.02	верифицированные выше
12	Черняховск	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	94714936.46	29051325	65663611.46	верифицированные выше
13	Северная ...	ПС 330 кВ	АО «Янтарьэнерго»	96599739.7	31060951	65538788.7	верифицированные выше
14	Краснозна...	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	16691942.12	80961889	64269946.88	аппроксимированные выше
15	Космодем...	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	114476720.3	55721826	58754894.3	верифицированные выше
16	Промышле...	ПС 110 кВ	АО «Региональна...	98776100.47	41569354	57206746.47	верифицированные выше
17	Охотное	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	28132488.42	76685626	48553137.58	аппроксимированные выше
18	Северная-...	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	97308035.71	48805004	48503031.71	аппроксимированные выше
19	Молокозав...	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	90206287.11	42145035	48061252.11	верифицированные выше
20	Янтарь	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	77262140	31518620	45743520	верифицированные выше
21	Зеленогра...	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	80362945.29	35127732	45235213.29	верифицированные выше
22	Вишневка	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	12671406.04	57208677	44537270.96	аппроксимированные выше
23	Береговая	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	22894730.11	67166541	44271810.89	аппроксимированные выше
24	Правдинск	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	42819204.3	86099041	43279836.7	аппроксимированные выше
25	Романово	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	2,124001418	36913518	36913515.8759986	аппроксимированные выше
26	Лужки	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	10744432.68	44730092	33985659.32	аппроксимированные выше
27	Сса	ПС 110 кВ	АО «Янтарьэнерго»	0.877751927	33307165	33307164.1222481	аппроксимированные выше

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения исследовательской работы была решена комплексная задача анализа и прогнозирования электропотребления объектов регионального электротехнического комплекса с использованием методов рангового анализа и параметрической адаптации данных.

В процессе исследования была сформирована база годовых данных по электропотреблению, реализованы процедуры их верификации, ранжирования и аппроксимации, разработана структура базы данных и сформирован OLAP-куб, включающий все четыре слоя данных. Далее для каждого слоя было выполнено прогнозирование электропотребления с использованием программного комплекса структурно-параметрического прогнозирования и проведена оценка качества прогноза по величине ошибок.

Полученные результаты показали, что качество исходных данных существенно влияет на точность прогнозирования, однако в условиях рассматриваемого РЭК именно аппроксимированные данные отражают реальные закономерности электропотребления наиболее полно и без искажений, вносимых дополнительной обработкой. Практическая значимость работы заключается в обосновании выбора оптимального слоя данных для прогнозирования, что позволяет повысить эффективность управления электропотреблением и принимать более обоснованные решения в РЭК.

Таким образом, цель исследовательской работы достигнута, а предложенные подходы могут быть использованы при создании цифровых моделей и систем управления электроэнергетическими объектами.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Сырые годовые данные

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	66026606,7	61423888	63319435	62661141,5	59906545	79888692	79815895	76866903	78418071	80102859	78538965	79454679	76560387	86980943	77099758,5
2	37455840	37751380	87120683	89328749	65815036	120678490	85602317	83992248	82822806	83993917	81181198	76998898,8	77262138	93754355,5	75683304
3	20050720	24031894,6	93324788,06	91568659,6	89568659,87	69397020	28529460	31816440	28595980	25606950	22496642	20928301,2	19235177,46	24587934,38	22554242
4	21188250	23236754	24619154	23172174	25195733	113807295	22785960	22887120	23367840	27774000	18771120	3881040	10280594,57	14688349,16	18690173,84
5	43640977,5	56220810	67363158	78867737,11	81467738,11	60571710	53868852	54410616	50985204	47694525	48500278	42148382,83	42640926,3	52506206,4	43236026
6	21518250	22036754	23849154	25302174	25495733	76868301	119458785	118235145	125538520	120493147	120227298	117694123,9	118729873,8	132405752,4	116982868,5
7	43840977,5	55520810	80860158	81467738,11	81467738,11	36380699	65512080	69665400	66210480	73147725	73110093	80494531,65	80362944	87383603,38	75018437
8	159390832	163261132	214996640	202566600	199347020	26758879	210379000	218440040	220592400	219677370	218653037	214898445,1	210190088,7	226009389,1	206656170
9	161467868	162844424	194473930	187574526	184773966,2	51200362	181526038	180030761	170363358	180853760	175158734	178835011,2	167321799,9	186859294,4	173258989
10	14618471,5	16889700	22979398	24591892,67	31592604	203736678	30313620	33762420	29936011	27461424	30502066	32509818,29	35708705,44	32230897,46	31596072,75
11	31755683	28600019	30646448	29963763	27223881,3	195517081	30869724	31453888	29214046	26725804	24809323	25379169,78	24569219,45	26869839,99	26352171,88
12	34122944	29019300	57805146	61407677	70711000	34864874	64421000	64035000	62026000	62913570	64920756	62459664	59609232	68201856	60204100
13	17191366,8	22966431	22992960,5	22992960,5	22992960,5	35097345	38665004	35218979	34638861	35772121	37317285	36067755,65	31671882,45	32970651,33	34411228
14	56208825	53048926	59816450	61717290	63725968	66981000	66468000	67448520	67400796	64862262	61204035	58447011,24	54685240,12	69069468	58491659
15	92415377	102079466	109001485	109250124	92251147,89	26571091	120929540	125445024	134217432	137792439	141519213	145131450,1	151279957,9	161694852,9	138805653
16	54890537,4	55277486	62380687	63467595,5	62369690	68271901	64675452	65896600	78242316	68245726	71699503	71582163,99	66887407,49	77065875,48	68380117
17	214743629,2	222506977	263804200	286096855	291402215,7	70028232	293431560	286368880	286710780	274151886	282378003	287012334	274679029	283887807	276314842
18	54156800,1	52866498	55672648	57350679	60450679	302831652	60425190	60041520	62218141	57828432	45171053	43898690,49	33104201,57	50773443,75	44572434,5
19	29335546,4	31666450	40112270	45212270	46328505	47250939	43388280	43099960	41780304	40036993	41668691	41872613,28	42819202,22	44381321,9	42148614,25
20	44607658	46324512	73430098,5	86730098,5	95530098,5	104644624	102780375	91044340	99337001	102447369	98706278	110836726,9	114476711,7	112831748,2	107653324,5
21	36866357	40907020	55397942	53573252	45798257	62276171	55987776	48584736	49600691	45772481	41432981	35751718,26	40087194,06	44255213	40820810
22	21809950	23823065	24118893	24733385,5	21450648	26557410	22297440	23337360	25816368	23062464	18632916	20833733,28	22456401,89	21398237,8	21925237,88
23	46675599	48661754,4	60702646	68690667,6	64790667,6	75063672	76053950	79179480	82033830	84013580	92745160	93215889,9	97308035,1	103268506,3	83103014
24	51129211,8	45439370,1	56139632,05	55939632,05	56239631,3	70726321	63098988	70258079	69982876	72789615	72215402	73709146,13	75370775	84996277,78	70618386,5
25	50592072	52812792	68080027	72410119	69283331	83859654	80773200	80563200	91060950	87253286	96306810	93154116	90206286	95897162	86339462
26	31224010	30904050	36694063	34637916	39416165	35636769	32439954	34689882	32358816	36241170	37827998	30620359,7	30829107,46	42312957,82	29268458,5
27	64842046,5	56344112	46088801	45398801	45198801	63914131	64761400	68706736	69576432	67086984	64740784	61976120,4	64601376	71478305	59005264,75
28	98292522	104230594,2	102090874	104808596,2	102440874	105114087	99589680	92690415	90903780	84233115	87174450	84920879,25	81486447,75	96383276	85455493,5
29	197777000	218766595	227970387,5	226970387,5	227970387,5	234165192	253059444	240139900	249041988	237006388	235895885	228091429,8	202147149,1	242221900,9	221241229
30	104468180	105801412	109969124	113684655,5	112979573,3	116441400	111701160	108700440	110658978	107411436	105407712	96750291,6	94719434,4	115736304,3	96643366
31	159443100	159038598,1	178935022,8	177135022,8	178235022,8	65964530	165217706	163441047	157587351	149641286	138458300	132479553,3	124433339,4	144357802	140236178
32	32790300	33390428	44659550	50544515,5	61767464	33396940	44162145	42099810	35799978	34441160	31969314	31822515,34	30489168,45	36759080,8	31649559,5
33	43511480	42657148	55079138	55018942	54799100,7	27994800	58351463	58429642	60648709	53965553	47013126	43517919	41659707	51382384,1	44646780,25
34	15493150	15455930	15929748	15729748	15929748	122817600	14800680	14632920	14881676	14156914	12435246	11354499	10744428,6	13444733,13	11735837,13
35	31840260	34998250	34223550	33927782	39769902	173724689	31336200	27393660	28207998	26158914	27341658	26633928,6	27586218,7	30152528,7	28074245,64
36	7253470	7306164	7298332	7299332	7299332	57566177	3532600	3534480	2475475	4287545	4208001	54084919,1	10280594,57	14688349,16	18690173,84
37	16901700	17441780	22164547,9	24633548,23	24337549,4	17198857	25747500	22463520	22663476	20854632	17867772	17347348,8	16691939,4	19704722	18376239,25
38	24943500	24184720	25465111	22096419	28041720	5067789	29796360	29980320	28600740	27449268	25884444	26195816,4	28132486,8	29026343,28	26224919,75
39	20801036	25788082	11821028	13480630,5	21955209,6	21833588	12723001	13134537	15458533	16006380	11292960	10529439,6	12671404,8	12987888,28	11594104,44
40	13623998	13828252	13263952	12372503,5	13808425	15789660	13141920	971640	997092	855324	864600	905280	867000	1302995,281	1259306,594
41	56163640	54401870	71788074	69954303	69882307,5	8530312	66894840	61543440	56344680	51845724	45400946	44160188	46338523,0	53970423,5	50294762,5
42	16238100	17990968,06	19505309	19960294	22247089	70363474	24294060	25179660	25189229	23190523	17524656	17245533,6	16570094,4	2075106,53	17598579,25
43	11354500	13464360	10408900	15161377	11559840	30100499	13260145	15939749	16370179	15817411	13132932	13863146,22	13895011,7	14713634,51	11456713,75
44	19482860	19372165	16420960	16957812,5	16447428	19415895	16604160	16313480	17312040	15533952	12348684	11571914,28	11116779,49	13918739,05	11378187,81
45	37205100	32667390	36632247	34386792,5	29353534,8	17567194	34331760	33907680	33597468	32940720	27945648	26283083,4	20570517,3	29783494,63	27697541,88
46	11461900	15035094	16107173	15369757,5	19431438,67	35910103	23071742	20893761	23754290	26046133	27449121	26019014,42	26694626,49	24328945,43	2506332,25
47	119497073	117656580	111184280	132414280	131894280	21502897	122725500	121843200	118069536	110954274	101570430	98444002,4	99980598	111099716,5	102893515,5
48	99438335	94008211	80034221	81034600	89008487	83111437	90764456	94134000	95769354	96113300	97923987	95000646,5	96599736,5	111206614	96253800,5
49	89552913	86521345	71234562	71204111	81245745	74567000	84521143	86233123	87876432	89076400	92345876	14292676,19	22652871,75	56235879,85	48105948
50	85829632	84123458	68921145	67211100	73578000	70234689	81588947	83432021	84111089	86745568	89987134	7444141,6	22894728	55247551,25	40526633
51	2987399	2723111	1023111	1972000	2245541	1745000	2994699	2700011	2887756	3067906	3167543	684011	10068000	9981907,961	980145,0234
52	78884885	76551111	60246754	60134011	66455221	59405599	70989991	73734567	73453889	75141823	77876297	17086538,16	18044754,24	48364810,38	42746813,5
53	30012135	28036135	18011543	17900247	21541786	17533711	27995966	28261044	28899563	31321451	34876143	1026	1164,6	15139137,88	5430953,688
54	18859209	16833109	8833000	9355100	13134762	8875700	18511100	10167122	11984299	13132785	11896433	26638619,4	35310985,15	14402121,94	32770193,38
55	12835067	9135022	7135022	7098800	8244078	6248878	14988878	7034011	8156799	9289400	11987888	8607579,594	10373885,25	13718052,59	9692525,594
56	29193301	27674													



### Приложение 2. Верифицированные данные

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
1	1	64364474	64161742,63	66026608,52	61423889,25	63319436,48	62661142,95	59906545,15	79888694,05	79815896,87	76866905,61	78418075,41	80102861,89	78538968,08	79454681,95	76560390,01	86890945,74	77099759,85
2	1	43395368,6	25049339,46	25644719,44	1,168860751	87120685,77	89328750,8	65815037,29	1,204610329	85602318,43	83992250,61	82822807,73	83993919,1	81181201,39	76989900,22	77262140	93754359,22	75683306,98
3	5840458,178	1948231,512	20050718,81	24031894,63	93324790,23	91568661,32	89568660,68	69397022,11	28529462,85	31816442,34	28595982,01	25606951,16	22466463,55	20928302,56	19235178,85	24587937,12	22554244,2	1421833,86
4	19671154,98	18221634,48	21188252,56	23236756,81	24619155,98	23172176,31	25195735,18	2,471305123	22785961,48	22887121,23	23367845,35	27774001,68	18771120,59	3881042,35	54710744,57	54738409,68	61421833,86	4323026,45
5	40774197,29	41859209,59	43640799,98	56220812,04	67363160,29	78867739,54	81467740,26	60571711,25	53868852,22	54410619,55	50985207,07	47694525,73	48500280,16	42148386,87	42640927,65	55206205,77	4323026,45	3950620,42
6	20993343,7	20324400,45	21518250,54	22036755,43	23849156,07	25302175,34	25495734,64	76868303,59	11945878,22	118235147,4	125538520,7	120493147,8	120227298,8	117694125,6	118729874,4	132405750,9	116982872,4	3520620,42
7	54071463,22	49667336,26	43849080,87	55520812,16	80660158,89	81467738,98	81467739,03	2,305467312	65512081,56	69665403,43	66210480,48	73147727,42	73110095,48	80494533,94	80362945,29	87386051,25	75018440,7	3950620,42
8	31530181,4	31290314,23	34112294	31390310,94	30646448,85	30563014,51	30563014,51	35699024,87	1,861895237	38605048,47	34689881,89	41780304,74	40036994,9	41686892,71	41872613,1	41872613,1	43879801,52	3520620,42
9	30757249,1	31620751,63	34122946,22	31390310,94	30646450,91	30563015,02	35699024,99	2,286122097	38605047,24	34689884,51	33597469,83	35106861,55	36585708,33	31810096,64	31250944,94	43879801,43	3950620,42	3520620,42
10	13321434,77	12742300,01	14618435,07	16889702,96	22979399,37	24591894	31592605,05	35917106,21	30313620,87	33762420,92	29936012,69	27461425,19	30520268,6	32509820,3	3570877,57	3230899,16	1596074,94	3520620,42
11	30076747,66	30651089,29	31755685,35	28600021,27	30664449,81	29963764,5	72723883,22	35910105,17	30869747,17	31453890,87	29214408,79	26725807,15	24809325,19	2579172,68	24869941,73	26869941,73	2652147,75	3520620,42
12	22530228,89	19322365,95	30057132,24	2,393548382	57805147,77	61407678,83	70711002,15	2,950337489	64421004,15	64035002,08	62026002,62	62915272,61	64920760,08	62459667,63	59609231,48	68021858,73	60441011,52	3520620,42
13	15850600,8	17353496,48	17191368,48	22966433,1	22992962,23	22992963,38	22992962,04	35097349,09	38605045	35218981,96	34683865,4	35772124,19	37317288,29	36067756,93	31671882,27	32970653,51	34411231,62	3520620,42
14	54164571,58	55178716,48	56208828,28	53048927,16	59816452,56	61717292,55	63725969,12	66981001,31	66468001,39	67448521,62	67400797,49	64862264,28	61204036,59	58447012,7	54685243,42	69609470,21	58491657,3	3520620,42
15	97324825,34	93319844,57	92415377,28	109001487,5	109250127,8	109250127,8	922511091,11	120929540,5	42671091,11	120929540,5	125444508,6	134217434,8	137792441	141519214,1	145131450,9	151279958,2	43879799,84	138805662,2
16	56888813,22	56252237,7	54890540,04	55274888,84	62836087,83	63467597,55	62369693,77	68271903,03	64675453,64	65899601,5	72842318,43	68245728,55	71699590,91	71821660,09	68687409,48	77068576,47	77068576,47	3520620,42
17	30757249,1	31620751,63	34122946,22	31390310,94	30646450,91	30563015,02	35699024,99	2,286122097	38605047,24	34689884,51	33597469,83	35106861,55	36585708,33	31810096,64	31250944,94	43879801,43	3950620,42	3520620,42
18	53129008,09	52939577,33	54156801,04	55672650,89	57350680,63	60450679,02	35910105,17	30313620,87	60425189,02	60041521,73	62218141,5	57828433,12	45171054,33	43898691,73	33104204,36	50773447,25	44572436,33	3520620,42
19	7298836,391	8136487,189	11267329,46	0,800718049	40112271,42	45212271,66	46328506,84	47250939,93	43388281,69	43809961,61	41780304,74	40036994,9	41686892,71	41872613,1	41872613,1	43879801,52	3520620,42	3520620,42
20	13404349,34	16854861,71	24673235,9	1,004957454	73430101,9	86730102,17	95530100,12	104644625,2	102780376,9	91044342,2	9937002,97	102447370,5	98706279,73	110836728,1	114476720,3	112531749,1	10765326,5	3520620,42
21	43889839,35	43721031,97	36866359,07	40907021,45	55397944,06	53573253,1	45798258,95	6276112,72	55987778,02	48584739,96	49600692,92	57472482,48	41432984,14	35751721,63	44255216,42	40882010,72	40882010,72	3520620,42
22	23196175,19	23176417,56	21809950,46	23823066,43	24118884,8	24733388,71	25140649,77	26557410,27	22297441,97	23333762,4	25816370,86	28062467,78	18632917,33	20833753,15	2256402,69	2193822,84	21925201,64	3520620,42
23	44784108,47	44132756,68	46675600,5	48661754,02	60702668,2	6890670,25	64790670,57	76053953,8	79179482,65	82038333,43	84013582,53	92741560,6	93215899,09	97308025,71	91302658	91302658	91302658	3520620,42
24	4784931,75	49492917,92	51129212,94	5439370,14	56139634,14	55939634,1	56239632,02	60799839,94	70258000,59	69982875,81	72789615,95	72215405,19	73709147,81	75370776,69	48996931,23	7061889,25	7061889,25	3520620,42
25	49290347,71	49122650	50592074,04	52812793,39	69808029,49	72410120,26	69283331,93	83859656,81	80773200,23	80568021,5	11060951,36	87253287,69	96306812,19	93154118,73	93020628,11	9587162,67	93020628,11	3520620,42
26	34198755,07	31442679,64	31224001,8	30904052,77	36694065,09	34637918,57	39416188,18	35636770,96	34299561,61	34698985,68	32358816,19	36241119,48	37828000,4	30620361,73	30829109,23	42312960,74	2920661,25	3520620,42
27	64999650,4	64486172,15	64842048,52	56344113,55	46088008,4	45398802,15	45198802,15	45198802,15	45198802,15	45198802,15	6576435,34	69708984,86	64740783,74	61962106,74	64601378,58	71478307,4	5905866,25	3520620,42
28	100751723,2	98798701,04	98292523,25	104230596,2	10209807,2	104808598,2	104200475	105114087,1	99589682,81	92960415,07	90903780,25	84233119,42	87174452,19	84920883,24	81486450,3	96338279,94	85455495,36	3520620,42
29	32615818,5	31880091,12	34122947,68	31390306,34	30646450,29	30563013,61	35699024,87	35910106,19	38605047,24	34689885,25	33597467,93	35106864,97	36585707,68	31810098,08	31250946,62	43879799,22	3950620,42	3520620,42
30	106475447,2	105462877	104668181,8	105801413,6	109969127,2	113694655,9	112979575,7	11644101,7	111701162	106700444,7	110658978,6	107414437,4	105407714,1	96750293,61	94714936,46	11576304,2	9564369,23	3520620,42
31	31869074,75	30130922,93	34122947,68	31390310,41	30646449,4	30563015,38	35699024,12	65964533,33	38605047,24	34698885,13	33597469,77	34941289,3	134858302	132479557,5	124433405,5	144537803,1	34021367,8	3520620,42
32	32825070,46	32255826,87	32799043,9	33390430,93	44659552,3	50544518,79	61767466,63	33396942,13	4160143,56	46299810,19	35799979,85	14962120,22	31963915,52	31822525,65	30489169,07	36799501,13	31644958,52	3520620,42
33	44425961,23	43217939,37	43511482,75	42657150,13	55079138,49	55018943,96	54799103,37	27994803,6	58351465,29	58429642,06	60468711,21	53965555,91	47013128,58	43541791,49	41659709,37	3134285,39	4464781,67	3520620,42
34	15061656,41	14791050,98	14555930,18	1545930,82	15929749,79	15729749,67	15929750,65	2,592141873	14881679,08	14652921,21	14881679,08	1456919,12	14245249,92	11354499,14	10744432,6	13444773,63	1447381,73	3520620,42
35	31692791,93	31918071,95	31840261,24	34998252,64	34223552,32	33927784,01	37969900,87	35910105,17	31336201,21	27939662,81	28207997,83	26158915,18	27416598,88	2663930,67	27586222,22	30152529,55	28074246,06	3520620,42
36	5785612,758	4955579,406	7231102,38	7106671,069	7928334,664	7299355,673	7299355,673	7299355,673	7299355,673	7299355,673	7299355,673	7299355,673	7299355,673	7299355,673	7299355,673	7299355,673	7299355,673	3520620,42
37	1747952,13	17139020,03	16901701,39	17441781,54	21264549,02	24633548,04	24337550,76	17198859,01	2547501,64	23465232,42	22663478,61	20854635,38	17867771,97	17347353,77	16691942,12	19704723,92	18376240,51	3520620,42
38	24088757,4	23835187,23	24943502,34	24184720,18	25465113,82	22096420,99	28041722,08	1,406720535	29796360,3	22960321,45	28600743,3	27449269,84	25884447,01	26195818,99	28132488,42	29026343,47	2622490,51	3520620,42
39	11595176,46	1835604,68	20811038,48	25788082,8	11821029,66	13840632,08	19555211,66	2183350,12	12723003,13	13134538,47	14548536,42	16006381,14	11292963,39	10529441,55	11627406,04	12987889,5	11594142,99	3520620,42
40	12569986,05	11510524,73	12362999,96	13828254,41	13263954,79	12372506,55	1808427,48	15789663,16	13141921,09	971642,0359	97909,1776	855325,1499	864601,2765	905831,3534	866999,2513	1302997,252	1259307,653	3520620,42
41	58219504,22	54024884,32	56336641,97	54401873,94	71788074,34	69954306,81	6988231,23	0,894250051	66894841,64	61534441,4	56344681,42	51845724,47	45400949,47	48160188,59	4633526,5			

### Приложение 3. Ранжированные данные

№	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	10647554,72	10546287,7	119497074,9	105801413,6	111184282,6	132414285,4	131894279,8	116444107,7	122725500,6	125444508,6	134217434,8	149641289,3	141519214,1	145131450,9	151279958,2	144357803,5	140236178,8
2	103793211,8	98798701,04	114319000,7	104230596,2	109969127,2	113684655,9	112979575,7	105114087,1	120929540,5	121843201,7	125538520,7	137792441	138458302	132479557,5	124433340,5	132405750,9	138805662,2
3	100751723,2	94312700,52	104468181,8	102079468,1	109001487,5	109250127,8	102440875	104464625,7	119458787,2	118235147,4	118065939,4	120493147,8	120227298,8	117694125,6	118729874,6	115736304,2	116982326,5
4	97324825,34	93319844,57	99483835,35	94008213,25	102090873,2	104808598,2	95530100,12	83859656,81	111701162	104700442,7	110658978,6	110954274,9	105407714,1	110836728,1	114476720,3	112531749,1	107653326,5
5	89481563,22	90516798,41	98292523,25	90500002,48	93324790,23	91568661,32	92251150,68	83111439,17	102780376,9	94134001,31	9937002,97	107411437,4	101570431	104692257	99905890,02	11099717,02	105178033,9
6	82491335,05	79928904,04	93502635,94	90009000,48	871120685,77	89328750,8	89568660,68	79898630,35	99589682,81	92690415,07	95769356,13	102447370,25	98706279,73	98444004,17	98776100,47	103268508	102895818,6
7	80440044,24	78492042,67	92415377,28	86521347,12	80860158,89	86730102,17	89008496,91	76688303,59	90764457,66	91044342,2	91060591,36	96113302,39	9723988,01	96750293,61	97308035,71	9638276,94	96643369,23
8	76232159,98	75252957,02	89552916,14	84123460,64	80034222,43	81467740,26	75063672,99	87239764,07	86681544,98	90903780,25	92111232,65	84233119,42	89157001,01	94564681,95	96599739,7	96599739,7	96253802,1
9	72504926,48	72352247,51	85292631,9	78220012,21	77033121,68	81034598,23	81467739,03	75045001,93	85602318,43	86233124,79	89111544,65	89076401,5	94971247,34	93215893,09	94714936,46	93754359,22	86339463,32
10	70438584,94	67703399,05	81888510,42	76551113,22	74301011,9	79035522,66	81245748,13	74567003,6	84999645,36	85567344,1	87876433,51	87253287,69	92745160,6	93154118,73	90206287,11	92513844,91	85455495,36
11	69466938,98	65178599,45	79866332,21	74321613,53	72502001,81	78867739,54	81043468,19	72143534,47	84521146,08	83992250,61	85978657,6	86745571,11	92345877,54	84920882,34	81488454,3	87383605,61	83103015,64
12	67937386,16	64486172,15	78888487,26	70011003,94	71788074,34	72410120,26	79008835,78	70726324,02	81588949,35	83432024,47	84111094,13	86410653,36	89987136,79	80494535,94	80362429,29	86980945,74	77099759,85
13	64999650,04	64161742,63	75070004,92	61423889,25	71234562,68	71204112,18	73578004,68	70234691,76	80773200,23	80563201,5	82822807,73	84233119,42	89157001,01	94564681,95	97226140	84996931,23	75683306,98
14	64364474	58462433,87	66026608,52	56344113,55	68921145,44	71143001,35	70711002,15	69397022,11	79815896,87	79179482,65	82033833,43	84013582,53	87174452,19	76998900,22	76563090,01	77065876,15	75018440,7
15	63998869,72	55835786,85	64842048,52	56220812,04	68080029,45	69954306,81	69882310,23	68271903,03	76035953,8	76866069,61	81480725,41	83993919,11	81181201,31	73709147,81	75370776,69	71478007,46	70618384,25
16	58219504,22	55625237,7	56488544,59	55520812,16	67363160,29	68960920,29	68293331,93	66981001,31	71789914,1	73734569,2	74866969,62	80102861,89	78465762,13	71582166,09	68687409,46	69609470,21	68381018,85
17	56888813,22	55178716,48	56208828,28	55277488,84	63319436,48	67211102,3	66455223,4	65964533,33	70944994,01	73278000,59	73453891,28	76138790,25	7838968,08	6389989,09	66514104,29	68201858,73	65019812,72
18	54164571,58	54024884,32	56163641,97	5401873,94	62836087,83	63467597,55	65815037,29	63914131,65	6898281,78	72058000,59	72842318,44	75141826,7	77876298,11	62459667,63	64601378,58	65087991,36	61421835,63
19	54014632,2	52939577,33	54890540,04	53048927,16	60702668,2	62661142,95	6400264,82	62276172,62	6698481,64	69884323,05	72342786,74	74785126,61	77012791,34	61976120,76	59609231,48	79330988,09	61421833,86
20	51200608,09	49867336,26	54156801,35	52866501,04	60349812,24	61717292,55	65141036,84	60571711,25	6648001,39	69665403,43	69982875,81	7314727,42	73110095,48	58447012,7	54710744,57	56235881,41	61421832,2
21	50906327	49499219,92	51129212,94	52812793,39	60246756,13	61656115,53	64790670,57	59567025,43	65916466,52	68706735,75	69576435,34	72789615,95	72215405,19	57613512,24	54710743,95	55247552,54	62040115,2
22	49290347,71	49122650	50592074,02	51123269,01	59816452,56	61407678,83	63275969,12	59405600,09	65512081,56	67657789,65	68992703,69	69992144,9	71945801,06	57613510,39	54710742,97	54738411	59095266,35
23	47849751,75	4823747,7	46675600,5	48661754,02	58011004,38	61034011,6	64788369,77	58400265,11	66714011,56	67448517,46	6740797,49	68245728,58	71989504,91	57156502,32	54685243,62	54738410,1	58941657,3
24	44708108,47	44312736,56	44523813,43	4543970,14	57805147,77	58837011,74	61746766,34	5756671,99	64675453,64	65899601,9	66210480,48	67089864,86	64920760,08	48160188,59	51552422,16	54738410,06	54028922,86
25	44425961,23	4372101,97	43840980,87	42657150,13	56139634,38	57350680,63	60450679,02	50678855,11	64421001,15	64035002,08	62118141,5	64028624,28	64740783,5	43898891,73	46338526,58	50719468,58	4719468,58
26	43889839,35	43217939,37	43784181,58	41110088,96	55672650,89	55939634,71	59906545,15	47250939,93	60398999,94	61543441,4	62026002,62	62913572,61	61204036,59	43517919,49	45740804,07	54519787,56	50345318,73
27	43395368,6	41859209,59	43640979,98	40907021,45	53397944,06	55018943,96	56239632,76	46271091,11	60425189,02	60041521,73	60648711,21	57828433,12	53896342,51	43310520,89	43475532,66	53970425,92	50294763,59
28	40774197,29	41210083,93	43511482,75	39730080,28	55079138,49	53573253,1	55113495,15	40451933,59	58351465,29	58429643,42	56344681,42	53965555,91	485900280,16	42148386,87	42819204,3	55206610,77	48105499,34
29	40468056,78	34117438,72	37205103,32	34998252,04	52111103,18	53664381,95	54799103,17	39910106,21	55987778,02	54410619,55	50985207,07	52437612,74	47013128,58	41827613,31	42640927,65	51382385,39	44646781,67
30	35031988,72	33311508,66	36866359,07	34089112,12	46088804,55	50544518,79	46328506,84	35910106,19	53868852,22	49532244,49	50877692,01	51845724,47	46271114,06	36665761,93	41659792,37	50773441,25	44572436,33
31	34404730,06	32290314,23	36615224,77	33390430,93	44655952,3	45388801,92	45798258,59	35910105,74	51985678,21	48548739,96	49600692,92	47649255,73	45400499,47	36067756,93	40087194,39	43864811,79	43236026,45
32	34198755,07	32258286,87	36537929,42	33110029,66	41652457,01	45122271,66	45578111,57	35910105,74	54612163,56	43806912,11	45027893,9	45772482,48	45171054,33	35751721,53	35708707,57	47287488,49	42746614,85
33	32825070,46	31980180,19	34525139,44	32667391,76	40112271,42	42331792,59	45198802,59	35910105,17	4382881,69	41100981,04	41780304,74	42507892,87	43589280,47	34656077,03	33104204,36	44481324,46	42186613,14
34	32615818,5	31880091,12	34122947,32	31390310,94	36694065,09	34637918,57	39769090,87	35910105,17	42979079,88	4009690,16	4090690,16	41978246,53	41686892,73	31671882,27	44255216,42	41882912,85	41882912,85
35	31869074,93	31620751,63	34122946,22	31390310,41	36632250,81	34386796,21	39416168,18	35636770,96	41988800,79	39456614,11	35799979,85	40036994,9	4432984,14	32237943,02	31250496,08	43879801,58	40802810,72
36	3162971,75	31620750,86	34122944,39	31390310,07	34223552,32	33927784,01	39300081,39	35910106,19	38957825,21	35218981,96	34648865,4	36241171,48	37828000,9	31310908,08	31250496,08	43879801,58	40526636,59
37	31530181,4	31046289,29	34122944	31390309,72	30646451,85	30563015,58	35690925,68	33396942,13	38605048,78	34689885,68	33597470,29	35772124,19	37317288,29	31310906,64	31250494,64	43879801,58	39562040,72
38	30757249,08	30615541,73	32790300,49	31114165,01	30646450,29	30563014,84	35690924,87	28756235,97	38605047,72	34689885,13	33597469,77	35106862,95	36585707,63	31810096,64	31810096,64	43879801,58	39562039,41
39	30076747,66	30130922,93	31840261,14	30904052,77	30646449,81	30563014,51	35690924,65	27994803,6	38605047,24	34689884,8	33597469,86	35106861,55	36585707,61	31822523,65	30489169,07	43879799,29	3956238,89
40	29971450,68	29196179,68	31755685,35	28600021,27	30646449,4	30563013,61	35690923,12	26758879,63	38605046,77	34689884,51	33597469,77	35106861,53	36585703,87	30620361,73	29838102,66	43670233,05	3956238,62
41	29877995,73	26000319,05	31224010,28	28636136,19	30646448,85	30563013,61	35690922,84	26557410,27	38605045	34689881,89	33597467,93	34441600,22	35854126,22	29322221,82	29360239,26	43611027,38	3956238,43
42	27120299,22	25049339,46	30057132,24	27014729,99	29110068,78	29963764,5	33110031,69	25521108,85	35965000,38	33907681,31	33258881,6	32982791,59	35146688,18	2638821,66	28132488,42	34312960,74	38138523,91
43	26900449,76	25024445,35	30012138,41	26670002,23	25465113,82	25302175,34	31592605,65	21833590,11	34331762,66	33764240,62	31877257,27	32940721,82	35141244,81	26633930,67	27745136,42	37832100,83	3

### Приложение 4. Аппроксимированные данные

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	203023805	200749138	217795798	217795798	195360815	189488313	229668676	214664382	229624883	245718144	204864147	242740768	252784268	233496340	211031130
2	143339849	139811972	151085650	151085650	141568210	132872152	163503777	152755073	160062493	170614499	148284018	164541391	169536600	168176957	153340860
3	116931710	113146545	121987631	121987631	117258958	107960007	134030163	125186944	129602408	137830529	122738897	131067186	134208594	138803809	127212634
4	101201494	97372211	104808604	104808604	102587399	93172020	116400222	108700438	111574675	118466252	107330396	111534084	113704301	121130330	111421567
5	90472758	86667671	93167898	93167898	92483740	83111437	104338743	97423067	99336971	105340259	96723759	98411170	99983122	108986768	100535976
6	82556692	78801043	84623215	84623215	84971701	75703236	95417617	89082970	90341316	95702687	88840419	88843655	90010620	99974167	92436100
7	76406620	72709648	78013140	78013140	79098437	69957293	88472690	82591056	83374183	88245474	82678581	81483852	82359112	92938114	86099041
8	71450768	67814990	72706068	72706068	74339956	65333670	82866659	77351180	77774812	82257093	77687495	75603177	76258862	87244752	80961889
9	67346905	63771833	68325387	68325387	70380865	61509667	78217391	73005921	73148798	77313195	73535740	70769353	71254224	82513060	76685626
10	63876014	60359801	64630872	64630872	67018340	58279033	74279953	69326208	69244336	73143055	70010237	66707834	67056382	78498288	73052127
11	60890568	57430780	61461173	61461173	64115172	55502990	70889135	66157537	65892167	69564811	66966863	63234917	63472427	75035031	69313765
12	58287075	54881079	58703398	58703398	61574741	53084287	67928901	63391400	62973779	66451203	64304147	60222511	60638054	72006916	67166541
13	55990509	52635662	56275896	56275896	59326755	50952483	65315034	60949048	60403401	63710175	61948281	57578256	57646565	69329351	64734770
14	53944972	50638720	54117968	54117968	57318680	49055142	62984727	58771756	58117233	61273283	59844108	55233682	55236364	66939161	62561865
15	52107851	48847769	52183427	52183427	55510349	47352320	60890057	56814717	56066705	59088448	57949463	53136831	53083185	64788076	60604548
16	50446017	47229829	50436434	50436434	53870447	45812986	58937030	55043063	54214107	57115248	56231478	51247477	51145066	62838488	58829973
17	48933271	45758855	48848696	48848696	52374152	44412614	57266233	53429204	52529656	55321773	54664100	49533938	49388987	61060602	57208677
18	47548587	44413868	47397542	47397542	51001492	43131535	55683862	51959077	50989474	53682450	53226371	47970878	47788570	59430462	55721867
19	46274869	43178212	46064565	46064565	49736192	41953766	54227328	50590359	49574171	52176516	51901214	46537771	46322464	57928554	54350926
20	45098053	42037654	44834645	44834645	48564838	40866164	52880755	49332497	48267810	50786912	50674554	45217784	44973174	56538801	53081628
21	44006449	40980726	43695233	43695233	47476257	39857813	51630937	48165056	47057160	49499480	49534670	43996974	43726220	55247822	51901754
22	42990253	39997734	42635814	42635814	46461058	38919560	50466792	47077672	45931130	48302357	48471710	42863674	42569498	54044372	50801211
23	42041168	39080482	41647504	41647504	45511282	38043663	49378937	46061577	44880346	47185516	47477320	41808045	41492803	52918927	49771406
24	41152123	38221992	40722737	40722737	44620134	37223528	48359367	45109290	43896823	46140421	46544393	40821720	40487467	51863357	48805004
25	40317045	37416276	39855026	39855026	43781770	36453494	47401211	44124387	42973713	45159751	45666778	39897535	39546071	50870671	47895694
26	39530690	36658169	39038771	39038771	42991131	35732873	46498525	43371314	42105103	44737187	44839178	39029317	38662226	49934827	47038016
27	38788499	35943181	38269114	38269114	42243819	35044821	45646145	42575243	41285858	43367243	44056980	38211711	37830397	49050563	46227211
28	38086490	35267395	37541809	37541809	41535980	34398229	44839553	41821954	40511495	42545131	43316144	37440051	37045760	48213280	45459123
29	37421165	34627374	36853136	36853136	40864229	33785640	44074783	41107739	39778080	41766647	42613119	36710249	36304090	47418933	44730092
30	36789437	34020086	36199812	36199812	40225573	33204184	43348333	40293236	39082144	41028089	41944769	36018705	35601673	46663949	44036885
31	36188574	33442847	35578934	35578934	39617358	32651317	42657098	39783812	38420615	40326178	41308310	35362234	34935221	45945162	43376632
32	35616141	32893270	34987918	34987918	39037218	31224778	41998316	39168618	37790762	39657997	40701263	34738010	34301821	45259749	42746777
33	35069967	32369226	34424461	34424461	38483041	31622547	41396518	38581435	37190148	39020947	40121412	34143513	33698874	44650188	42145035
34	34548105	31868808	33886499	33886499	37952928	31142816	40768491	38020196	36616590	38412697	39566769	33576490	33124058	43979217	41569354
35	34048804	31390301	33372178	33372178	37445172	30683957	40193245	37483042	36068124	37831155	39035543	33034917	32575291	43379801	41017887
36	33570484	30932160	32879828	32879828	36958230	30244503	39641938	36968292	35542983	37274433	38526117	32516973	32050696	42805100	40488968
37	33111717	30492987	32407938	32407938	36490706	29823130	39113079	36474429	35039567	36740825	38037028	32021012	31548580	42253451	39981085
38	32671207	30071516	31955138	31955138	36041331	29418633	38605059	36000074	34556425	36228786	37566947	31545544	31067412	41723343	39492866
39	32247775	29666595	31520183	31520183	35608950	29029919	38116581	35543973	34092238	35736909	37114662	31089215	30605799	41213400	39023061
40	31840345	29277173	31101938	31101938	35192509	28655990	37646418	35104982	33645806	35263914	36679070	30650793	30162474	40722367	38570530
41	31447936	28902293	30699368	30699368	34791043	28295935	37193453	34682054	33216030	34808630	36259160	30229154	29736284	40249095	38134229
42	31069646	28541075	30311524	30311524	34403668	27948919	36756659	34274231	32801904	34369985	35854003	29823269	29326171	39792532	37713202
43	30704650	28192714	29937536	29937536	34029571	27614176	36335094	33880633	32402506	33946997	35462750	29432194	28931167	39351711	37306568
44	30352187	27856468	29576602	29576602	33668004	27291001	35927891	33500449	32016988	33538762	35084616	29055064	28550384	38925741	36913518
45	30011555	27531656	29227987	29227987	33318276	26978745	35534250	33132934	31644567	33144447	34718877	28691080	28183003	38513802	36533303
46	29682109	27217647	28891008	28891008	32979750	26676808	35153434	32777396	31284523	32763283	34346486	28339508	27828269	38115133	36165234
47	29363249	26913859	28565038	28565038	32651833	26384637	34784758	32433199	30936188	32394561	34021962	27999667	27485488	37729034	35808671
48	29054421	26619751	28249494	28249494	32333979	26101717	34427591	32099749	30598944	32037621	33689592	27670929	27154014	37354283	35463021
49	28755109	26334823	27943836	27943836	32025679	25827571	34081343	31776499	30272217	31691855	33367224	27352711	26833249	36991985	35127732
50	28464835	26058609	27647560	27647560	31726458	25561757	33745468	31462937	29955476	31356693	33054360	27044472	26522641	36639866	34802292
51	28183154	25790678	27360201	27360201	31435877	25303862	33419457	31158587	29648223	31031609	32750539	26745709	26221673	36297974	34486222
52	27909649	25530624	27081322	27081322	31153522	25053502	33102836	30863006	29349998	30716110	32455330	26455952	25929867	35965819	34179078
53	27643933	25278073	26810518	26810518	30879011	24810317	32795160	30575781	29060368	30409738	32168330	26174765	25646774	35642945	33880443
54	27385644	25032670	26547408	26547408	30611982	24573974	32496016	30296523	28778931	30112064	31889162	25901739	25371978	35328924	33589927
55	27134442	24794089	26291638	26291638	30352100	24344157	32205016	30024870	28505309	29822687	31617473	25636494	25105088	35023356	33307165
56	26890008	24562019	26042874	26042874	30099047	24120573	31921794	29760483	28239150	29541230	31352933	25378671	24845740	34725866	33031814
57	26652045	24336172	25800806	25800806	29852527	23902946	31646012	29503042	27980121	29267341	31095230	25127937	24593590	34436103	32763553
58	26420272	24116275	25565139	25565139	29612262	23691016	31377346	29252248	27727911	29006090	30844072	24883976	24348319	34153734	32502081