

УДК 63:621.311.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В. А. ВОРОБЬЕВ, А. А. ДИДЖЮЛИС

(Кафедра электрификации с.-х. производства)

Анализируются существующие методы определения электрических нагрузок сельскохозяйственных предприятий, приводятся коэффициенты вариации электрических нагрузок. Представлены алгоритмы расчета электрических нагрузок различными методами.

В последние годы по мере расширения электрохозяйства предприятий различного типа и развития электрификации агропромышленного комплекса все более остро стоит проблема точного определения электрических нагрузок.

Разрыв между расчетными и фактическими электрическими нагрузками промышленных предприятий в 1978 г. оценивался 200 % [5]. Расчетные нагрузки сельскохозяйственных потребителей в 1,5—3 раза выше фактических [1]. Это наносит большой экономический ущерб. Достаточно отметить, что разрыв между расчетными и фактическими нагрузками на 1 % обуславливает издержки в масштабе страны только по трансформаторным подстанциям 0,66 млн. руб.

Главной причиной нежизнеспособности существующих способов расчета нагрузок является то, что при их разработке отсутствовала системность в подходах к процессам формирования электрических нагрузок. Основными нормативными документами, используемыми при проектировании, были руководящие указания по проектированию, руководящие материалы и руководящие указания, которые подвергались критике, периодически уточнялись и переиздавались. Многие неточности в современных нормативных документах устранены. Однако в руководящих материалах по проектированию все же встречаются серьезные методические некорректности, что снижает точность определения электрических нагрузок различных объектов и в результате отрицательно влияет на эффективность использования электрооборудования системы электроснабжения.

При проектировании систем электроснабжения различных предприятий возникает необходимость определения расчетных электрических нагрузок группы объектов в определенных точках электрической сети. Особенно часто такие задачи приходится решать в системе Госагропрома, где электрические сети отличаются значительной разветвленностью и наличием большого числа узлов.

В методических указаниях [4] эта задача решается на основе представления о распределении электрических нагрузок на вводах отдельных объектов по нормальному закону и использования приемов композиции нормальных законов. В указанной работе в таблице П.1.1 даны математические ожидания дневных и вечерних максимумов активной и реактивной нагрузок, определенные по методике, изложенной на с. 85.

$$\bar{P}_d = \sum_{i=1}^n P_{i d}/n; \quad \bar{P}_e = \sum_{i=1}^n P_{i e}/n; \quad \bar{Q}_d = \sum_{i=1}^n Q_{i d}/n; \quad \bar{Q}_e = \sum_{i=1}^n Q_{i e}/n, \quad (1)$$

где P_{i0} , $P_{i\alpha}$ — активные (кВт) и Q_{i0} , $Q_{i\alpha}$ — реактивные (квар) нагрузки соответственно в дневной и вечерней максимумах за i -тые сутки, n — количество наблюдений. Эти величины берутся в один и тот же час за все сутки, в течение которых выполнены измерения. Авторы [4] упустили важную закономерность: в один и тот же момент времени разных суток у большинства сельскохозяйственных потребителей не только максимальные нагрузки, но и вообще электрические нагрузки [2, 5] никогда не повторяются.

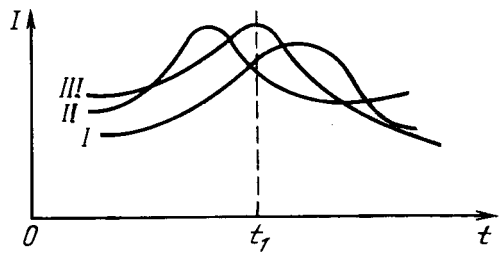


Рис. 1. Участки реализации электрических нагрузок за отдельные сутки (I, II, III) и в момент фиксации максимальной нагрузки.

При учете электрических нагрузок в один и тот же час суток в период предполагаемого максимума невозможно получение достоверной информации из-за случайных смещений максимума во времени. Значение математического ожидания максимальной нагрузки получается заниженным, а среднего квадратического отклонения — завышенным. На рис. 1 видно, что получается при определении математического ожидания «максимальной» нагрузки, если значения нагрузки регистрировать в один и тот же час ряда суток.

Другой более серьезной некорректностью методики [4] является то, что максимальные нагрузки сельскохозяйственных потребителей считаются появляющимися в определенные часы дневного или вечернего максимума. При этом совершенно игнорируется факт, что на различных по типу и технологии сельскохозяйственных предприятиях максимальные нагрузки могут приходиться на различные непредсказуемые часы суток. Например, на птицефабрике дневной максимум нагрузки может быть в 10 ч, а на молочной ферме — в 13 ч. В соответствии с теорией вероятностей совпадение максимумов нагрузки различных объектов также маловероятно.

При сложении математических ожиданий максимумов этих нагрузок, согласно [4], заведомо значительно завышается суммарная расчетная нагрузка проектируемого узла электроснабжения, от которого будут питаться указанные потребители.

Некорректность приведенных формул [4] заключается также в том, что они справедливы для абсолютно независимых нагрузок потребителей, а это встречается очень редко. В общем случае необходимо учитывать коэффициент попарной корреляции между нагрузками потребителей, что значительно усложняет расчет. Кроме того, объективные сведения об этих коэффициентах в сельской энергетике отсутствуют.

В работе [4] нет обоснования выбора кратности рассеяния нагрузок $\beta=2$.

Существенную некорректность содержит формула, приведенная на с. 88 [4], по которой рекомендуется определять расчетную нагрузку отдельного объекта

$$P_p = \sum_{i=1}^n \frac{P_{yi} \kappa_{3i}}{\eta_i} + \sum_{i=1}^m \frac{P_{y\kappa i} t_i \kappa_{3i}}{0,5 \eta_i}, \quad (2)$$

где P_{yi} — установленная (паспортная) мощность каждого из i электроприемников (ЭП), участвующих в формировании максимальной нагрузки и работающих во время ожидаемого максимума нагрузки более 0,5 ч, кВт; κ_{3i} — средний коэффициент загрузки ЭП по активной мощности; η_i — КПД ЭП; $P_{y\kappa i}$ — установленная мощность каждого из i ЭП, участвующих в формировании максимальной нагрузки и работающих во время максимума менее 0,5 ч, кВт; t_i — длительность непрерывной работы каждого из ЭП, не попадающих в максимум, $P_{y\kappa i}$, ($t_i < 0,5$ ч).

Выполняя расчет по этой формуле, проектировщик не в состоянии достаточно точно определить степень участия того или иного ЭП в максимуме при значительном числе ЭП и при их автоматической работе. Наряду с этим второе слагаемое данной формулы не учитывает возможность одновременной работы ЭП с продолжительностью работы менее 0,5 ч, а такая возможность в практике существует.

Определение расчетных нагрузок отдельных объектов [4] рекомендуется вести по изжившему себя в промышленной энергетике методу упорядоченных диаграмм, использование которого затруднено, так как в системе АПК нет опыта использования расчетных коэффициентов.

Из изложенного видно, что гарантировать приемлемую точность расчетов электрических нагрузок по существующим методикам трудно. Обширные приложения методических указаний [4], в которых приведены вероятностные характеристики электрических нагрузок 380 различ-

Т а б л и ц а

Коэффициенты вариации получасовых электрических нагрузок молочных ферм

Время суток	№ предприятия					
	1	2	3	4	5	6
0.00—0.30	13,75	9,49	20,16	22,15	22,97	38,14
0.30—1.00	13,98	4,07	54,16	24,17	16,89	33,21
1.00—1.30	13,59	8,22	36,80	1,35	11,79	35,78
1.30—2.00	5,74	8,18	51,99	18,40	13,51	27,33
2.00—2.30	5,05	8,73	36,72	23,70	14,29	29,21
2.30—3.00	5,41	12,47	53,75	22,81	11,50	15,83
3.00—3.30	4,41	13,22	32,59	18,64	17,09	14,29
3.30—4.00	4,63	5,05	39,25	25,75	17,29	10,70
4.00—4.30	4,79	12,87	23,36	1,98	13,16	8,62
4.30—5.00	6,33	5,08	52,71	23,25	13,13	6,29
5.00—5.30	5,52	4,81	36,13	22,43	15,17	6,54
5.30—6.00	6,51	4,92	53,42	23,35	3,96	6,80
6.00—6.30	14,98	3,84	37,57	22,90	2,82	6,29
6.30—7.00	14,39	1,58	51,60	5,67	3,56	6,94
7.00—7.30	14,46	1,76	34,28	8,26	3,34	10,03
7.30—8.00	13,40	2,16	52,18	18,95	2,83	11,17
8.00—8.30	13,06	2,02	40,30	17,28	2,34	13,31
8.30—9.00	12,00	4,83	44,39	26,82	17,87	27,25
9.00—9.30	12,55	8,92	24,04	19,00	17,35	30,69
9.30—10.00	10,54	11,62	25,80	20,11	19,97	28,62
10.00—10.30	13,66	5,32	24,28	20,11	15,45	38,12
10.30—11.00	2,86	5,09	25,44	1,28	25,79	38,40
11.00—11.30	1,11	20,38	20,87	1,22	13,88	37,58
11.30—12.00	3,72	15,62	24,89	18,64	12,89	49,42
12.00—12.30	4,84	5,81	27,42	1,02	11,25	45,22
12.30—13.00	4,82	11,86	27,69	19,51	12,59	47,37
13.00—13.30	6,38	4,23	29,01	18,88	12,44	43,85
13.30—14.00	3,91	12,29	31,06	1,02	9,65	39,63
14.00—14.30	6,14	4,15	29,05	1,02	12,94	31,33
14.30—15.00	5,57	3,54	28,43	1,02	13,44	30,89
15.00—15.30	2,66	5,44	19,39	1,02	20,25	22,64
15.30—16.00	6,04	4,39	20,50	1,02	3,21	23,43
16.00—16.30	4,86	4,03	19,94	20,36	4,87	20,93
16.30—17.00	4,42	3,82	19,78	22,47	4,50	27,64
17.00—17.30	12,77	3,21	19,71	21,22	3,71	19,12
17.30—18.00	12,47	2,31	17,78	1,02	3,53	23,30
18.00—18.30	4,45	2,24	18,82	1,02	3,26	22,66
18.30—19.00	7,18	1,81	15,90	20,92	2,38	21,98
19.00—19.30	9,66	1,78	13,48	22,81	2,52	20,27
19.30—20.00	5,51	1,44	36,60	22,81	2,33	15,45
20.00—20.30	3,34	1,67	12,04	1,02	2,53	22,19
20.30—21.00	4,80	11,59	11,64	1,02	12,96	21,57
21.00—21.30	6,46	8,18	13,85	18,31	19,79	23,45
21.30—22.00	3,62	4,28	16,92	22,81	11,79	41,20
22.00—22.30	6,03	11,15	11,96	21,27	13,95	30,51
22.30—23.00	5,06	4,37	15,44	3,70	9,44	33,07
23.00—23.30	5,29	3,42	14,08	18,40	23,86	30,47
23.30—24.00	6,53	8,64	20,07	22,81	17,45	31,08

Коэффициенты вариации суточных электрических нагрузок молочных ферм

№ суток	№ предприятия					
	1	2	3	4	5	6
1	9,58	78,86	6,40	15,11	90,44	40,25
2	13,81	74,62	15,83	17,50	80,01	39,60
3	14,16	73,98	24,01	19,89	83,01	39,01
4	14,72	73,52	23,72	17,73	81,77	34,55
5	11,86	73,27	24,04	19,54	78,65	37,05
6	12,15	73,72	18,40	18,91	81,04	31,78
7	12,20	74,54	30,28		79,89	36,06
8		74,50	25,92		80,90	32,28
9		73,28	50,92		80,06	43,39
10		73,28	27,12		80,06	43,55
Среднее	13,00	73,66	29,68	18,15	80,78	38,16

ных предприятий, представляют пример «введения сущности без необходимости», которому не хватает бритвы Оккама.

В практике установленные мощности предприятий могут отличаться от значений, принятых в табл. П.1.1 [4], например, из-за несоответствия объема производства предприятия указанному в таблице. В этом случае их максимальную активную $P_{ж}$ или реактивную $Q_{ж}$ нагрузку находят экстраполяцией или интерполяцией соответствующих значений и установленной мощности новых потребителей. При определении математических ожиданий и дисперсий нагрузок таких новых потребителей исходят из иллюзорного допущения, что при подобной экстраполяции или интерполяции отношение между дисперсиями и математическими ожиданиями нагрузки однородных предприятий (коэффициент вариации) сохраняется постоянным.

Таблица 3

Вероятностные характеристики электрических нагрузок сельскохозяйственных объектов

Объект	M_I	σ_I	ρ_I
Свиноводческий комплекс совхоза «Авдюковский» Смоленской обл.			
Тр8	379,21	28,46	7,43
ТП20А	42,03	35,14	82,73
ТП21А	15,73	1,01	6,38
ТП20	107,92	1,46	1,34
ТП16А			
Тр3†	270,34	16,36	5,99
ТП16А			
Тр5	143,51	6,08	4,19
ТП16А			
Тр2	222,66	18,98	8,43
Свиноводческий комплекс совхоза им. 50-летия СССР Горьковской обл.			
ТП62	548,05	107,35	19,38
ТП68	820,25	55,63	6,71
Свиноводческий комплекс совхоза «Искра» Рязанской обл.			
Фидер 1 и 2	72,89	5,94	8,07
Фидер 3	177,53	12,15	6,78

Примечание. M_I — математическое ожидание силы тока; σ_I — среднее квадратическое отклонение; ρ_I — коэффициент вариации.

Наши исследования показывают, что коэффициенты вариации электрических нагрузок однородных предприятий сильно различаются не только в часы максимума, но и в другие часы суток, по суткам в целом и по другим интервалам времени. Об этом свидетельствуют данные табл. 1 и 2, в которых представлены результаты расчетов коэффициентов вариации электрических нагрузок по получасовым интервалам, по целым суткам и по совокупности суток.

Предприятие № 1 — коровник (1-я секция) колхоза «Еришкес» Паневежского р-на Литовской ССР (зима 1987 г.); № 2 — коровник учхоза Литовской с.-х. академии (лето 1984 г.); № 3 — коровник совхоза «Бирштонас» Пренайского р-на (зима 1986 г.); № 4 — 3-й корпус молочной фермы «Ширвинтос» (зима 1980 г.); № 5 — молочная ферма «Табаришкес» учхоза Литовской с.-х. академии (зима 1983 г.); № 6 — молоч-

ный комплекс им. Мичурина Каунасского р-на (зима 1985 г.).

Исходными данными для расчетов коэффициентов вариации являлись реализации электрических нагрузок, записанные регистрирующими приборами на вводах указанных предприятий.

Из табл. 1 видно, что на каждом предприятии в различные часы суток электрическая нагрузка имеет случайные значения (диапазон изменения коэффициентов вариации весьма широк).

Индивидуальные особенности молочных предприятий, обуславливающие небольшую изменчивость коэффициентов вариации электрических нагрузок в течение отдельных суток, более четко прослеживаются в табл. 2. Однако несмотря на сходство технологических процессов на указанных предприятиях, общие коэффициенты вариации нагрузки значительно различаются. Разнообразие коэффициентов вариации электрических нагрузок на вводах различных объектов свиноводческих комплексов подтверждают также данные табл. 3. Они свидетельствуют об индивидуальных особенностях каждого предприятия, объекта.

Подобная ситуация в промышленной энергетике была отмечена Б. И. Кудриным [6]. Исходя из этого, совершенствование методов определения электрических нагрузок промышленных предприятий пошло в направлении создания банка данных об электрифицированных предприятиях и завершилось разработкой комплексного метода расчета электрических нагрузок.

Применительно к условиям сельской энергетики индивидуальные особенности каждого предприятия или объекта лишней раз свидетельствуют о невозможности использования коэффициента вариации для характеристики групп сходных по технологии предприятий.

Из данных табл. 1—3 видно, что коэффициенты вариации изменяются от объекта к объекту в значительном диапазоне, что приводит к ошибкам в расчетах электрических нагрузок при использовании методики [4], которые, как отмечалось выше, отличаются в ряде случаев от фактических на 300 %.

Таким образом, можно прийти к выводу о нецелесообразности использования приемов классической электротехники и классических методов определения электрических нагрузок для сокращения разрыва между расчетными и фактическими нагрузками.

Новым путем совершенствования расчетов электрических нагрузок явился тот, при котором учитываются марковский характер формирова-

Таблица 4

Расчет электрических нагрузок Усть-Лабинского горнолвазавода

Объект	Группа	$I_{уст}^*$ А	n_0	t_c	λ	a	$I_{ср}^*$ А	I_c^* А	κ	I_p^* А	I_{np}^* А	ΔI , %
Главный корпус	РЩ1	648,42	70	4,28	5	21,4	9,26	198,2	32	296,3	434	46,5
	РЩ2	476,1	62	4,76	4,43	21,1	7,68	162,0	32	245,8	367,4	49,5
	РЩ3	524,73	38	5,19	2,71	14,1	13,8	194,6	23	317,4	387,4	22,1
	РЩ4	611,8	15	6,13	1,07	6,56	40,8	267,6	12	489,6	498	1,7
Освещение		22,07	50	—	—	—	—	—	—	22,07	22,07	—
		26,45	9	3,71	0,64	2,4	2,94	7,1	6	17,6	22,5	27,8
Гараж												
Канализационно-насосная станция		147,5	14	5,07	1,29	6,54	10,5	68,7	11	115,5	120	3,9
Административно-бытовой корпус		166,83	18	4,74	1,29	6,1	9,3	56,73	12	111,6	114	2,1
Σ		2623,9										

Примечание. $I_{уст}$ — сила тока установленных ЭП; n_0 — число обычных ЭП; t_c — среднее время работы одного ЭП; λ — плотность потока включений ЭП; a — среднее число работающих ЭП; $I_{ср}$ и I_c — средний ток одного и группы ЭП; κ — число ЭП, участвующих в максимуме; I_p — расчетный ток; I_{np} — ток по проекту; ΔI , % — погрешность.

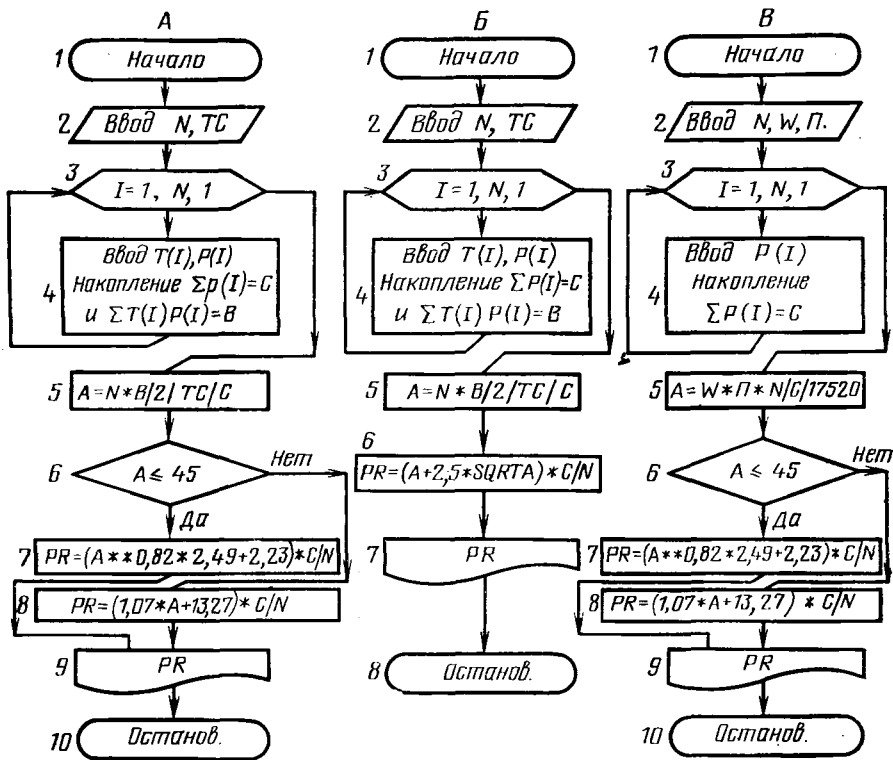


Рис. 2. Алгоритмы определения электрических нагрузок.

А — по данным о режимах работы электроприемников; Б — по методу «трех сигм»; В — с учетом норм электропотребления.

ния нагрузок и режимы работы электроприемников [2, 3]. В результате теоретических исследований получены новые математические модели и «теоретические кристаллы» распределения электрических нагрузок, которые позволили получить простые расчетные зависимости, обеспечивающие высокую точность расчетов нагрузок.

Ниже в качестве примера сравниваются расчетные нагрузки конкретных предприятий с фактическими нагрузками, полученными в результате натурных обследований этих предприятий. В табл. 4 представлены результаты обследования и расчета электрических нагрузок по отдельным объектам Усть-Лабинского молочного завода (Краснодарский край). Этот молочный завод перерабатывает 50 т молока в смену. Установленная мощность электроприемников на заводе 1380 кВт. Питаются производственные потребители от трансформаторной подстанции, на которой установлены два силовых трансформатора мощностью 630 кВ·А. Расчетный ток, полученный по методике [2], составил

$$I_p = I_p^{\max} + I_{c \text{ рщ } 1} + I_{c \text{ рщ } 2} + I_{c \text{ рщ } 3} + I_o + I_{c 2} + I_{c \text{ ннс}} + I_{c \text{ авк}} = 1199 \text{ А.}$$

По данным службы главного энергетика гормолзавода, максимальная нагрузка в наиболее загруженную смену составила 1197 А. Таким образом, можно видеть, что использование методики [2] обеспечивает высокую точность расчетов. В целом по заводу один из двух трансформаторов подстанции не используется¹.

В другом случае приведен расчет электрических нагрузок завода рыбных комбикормов с японским оборудованием. Завод расположен в Ростове-на-Дону, производительность его 75 тыс. т комбикорма в год. Установленная мощность: силовые электроприемники — 3193,5 кВт, электрическое освещение — 189,6 кВт.

¹ Данные получены от начальника электротехнического отдела проектного института «Краснодарагропромспецпроект» А. Н. Матвеева.

Расчетная нагрузка на вводе указанного предприятия, полученная по методике [2], составила 1442,1 кВт, фактическая максимальная нагрузка в наиболее загруженный период — 1440 кВт. Расчетная нагрузка данного предприятия на основе коэффициента спроса равняется 1730 кВт¹.

Для использования методики [2] в САПР на базе ЭВМ разработаны алгоритмы и фортран-программы, которые позволяют рассчитывать электрические нагрузки сельскохозяйственных предприятий с высокой точностью.

На рис. 2 приведены три алгоритма определения электрических нагрузок, которые можно использовать обособленно и для взаимопроверки полученных результатов.

Таким образом, установлено, что только математические модели, учитывающие взаимосвязи режимов работы электроприемников, их мощностей и параметры электрических нагрузок, позволяют с достаточно высокой точностью рассчитывать электрические нагрузки различных объектов. Это дает возможность существенно снизить существующий разрыв между расчетными и фактическими электрическими нагрузками объектов и повысить эффективность эксплуатации элементов систем электроснабжения АПК нашей страны, что прямо связано с решением Энергетической программы СССР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волосатов О. П., Молосков Н. Ф. Электроснабжение комплексов по производству продукции животноводства на индустриальной основе. — Повышение качества электроснабжения сельск. хоз-ва. М.: ВИЭСХ, 1978, т. 45, с. 32—43.
2. Воробьев В. А. Описание распределения электрических нагрузок объекта уравнением Пуассона. — Электричество, 1987, № 9, с. 50—51.
3. Воробьев В. А. Определение закона распределения электрических нагрузок во времени. — Известия вузов СССР. Энергетика, 1988, № 2, с. 21—25.
4. Кудрин Б. И. О комплексном методе расчета электрических нагрузок. — Известия вузов СССР. Электромеханика, 1981, № 2, с. 209—210.
5. Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38—110 кВ сельскохозяйственного назначения. — Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельск. хоз-ва. М.: ВГПИИИ «Сельэнергопроект», 1981.
6. Совершенствование расчетов электрических нагрузок промышленных установок. — М.: Энергия, 1978, № 1, с. 15—17.

Статья поступила 6 сентября 1988 г.

SUMMARY

The existing methods for determining electric loads on farm enterprises are analyzed and coefficients of electric load modifications are presented. The algorithms of calculating electric loads on farm enterprises by different methods are presented.

¹ Данные получены от главного специалиста электротехнического отдела Краснодарского отделения Гидрорыбпроекта Б. Г. Гаркавика.