

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОГО СПОСОБА СУШКИ ЗЕРНА

P.P. Dolgikh, N.V. Kulakov,
E.V. Lots

THE RESEARCH OF INFRA-RED WAY OF GRAIN DRYING

Долгих П.П. – канд. техн. наук, доц. каф. системозащиты Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: dpp@rambler.ru

Кулаков Н.В. – ст. преп. каф. системозащиты Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: dpp@rambler.ru

Лоц Е.В. – специалист производственной группы ООО «Русская Инжиниринговая Компания», г. Красноярск. E-mail: evgeny.lots@yandex.ru

Dolgikh P.P. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Systems of Emergency, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: dpp@rambler.ru

Kulakov N.V. – Asst, Chair of Systems of Emergency, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: dpp@rambler.ru

Lots E.V. – Specialist, Production Group, JSC “Russian Engineering Company”, Krasnoyarsk. E-mail: evgeny.lots@yandex.ru

Ключевым условием сохранности зерна является качественная сушка с применением новейших достижений научно-технического прогресса. Инфракрасная сушка отличается экологичностью и высокой эффективностью, однако режимы изучены мало и требуют эмпирического обоснования. В работе в качестве источника излучения была использована инфракрасная зеркальная лампа мощностью 250 ватт; обрабатывалась пшеница сорта Алтайская-70. В первом эксперименте было установлено, что при увеличении толщины слоя пшеницы в 2 раза время обработки увеличивается в 3 раза за счет медленного испарения воды с поверхности зерна путем естественной конвекции. Расход электроэнергии увеличивается в 3 раза. Второй эксперимент показал, что при применении искусственной постоянной вентиляции во время сушки изменение высоты подвеса облучателя не приводит к уменьшению времени обработки. При толщине слоя 0,012 м время сушки составило 75 минут при высоте подвеса облучателя 0,2 и 0,5 метра. Расход электроэнергии увеличивается за счет мощности вентилятора 0,03 кВт. Предварительные эксперименты показали, что для повышения эффективности сушки зерна с 23 до 13 % влажности необходимо применять дополнительную вентиляцию с импульсным режимом включения вентилято-

ра: 4 минуты – пауза, 1 минута – работа. В результате определены целесообразные режимы подсушивания зерна пшеницы с высотой подвеса облучателя 0,1 метра над его поверхностью и импульсным вентилированием при толщине слоя 0,02 метра. Время сушки составляет 105 минут. При этом энергоёмкость обработки составляет 1208,9 кВт·ч/т, стоимость обработки одной тонны пшеницы – 1765 рублей.

Ключевые слова: сушка зерна, инфракрасное излучение, режимы инфракрасной сушки, импульсная вентиляция, толщина слоя зерна, влажность зерна, энергоёмкость, ИК-обработка.

Key condition of grain safety is high-quality drying with the application of the latest achievements of scientific and technical progress. Infra-red drying is characterized by high efficiency and eco-friendliness; however, the modes have been poorly studied and require empirical study. In the study as a source of radiation 250 watts infra-red reflector lamp was used; the grade wheat Altai-70 was processed. In the first experiment, it was found out that by increasing the thickness of wheat layer by 2 times the processing time increased by 3 times by slow evaporation of the water from the grain surface by natural convection. Electricity consumption was increased by 3 times. The second experiment

showed that the application of permanent artificial ventilation during drying change of height of subweight of the irradiator did not reduce the processing time. At the layer thickness of 0.012 meter the drying time was 75 minutes at the height of subweight 0.2 and 0.5 meters. Electricity consumption increased due to the fan power of 0.03 kW. Preliminary experiments have shown that in order to improve the efficiency of grain drying from 23 % to 13 % the humidity it is necessary to apply additional ventilation fan with a pulse mode switching: 4 minutes – a pause, 1 minute – work. As a result, suitable regimes of drying wheat with the height of suspension feed of 0.1 meters above its surface and pulsed ventilation layer thickness of 0.02 meters were determined. The time of drying was 105 minutes. At the same time the electricity consumption of processing was 1208.9 kWh/t, the cost of processing of one ton of wheat was 1765 rubles.

Keywords: corn drying, infra-red radiation, infra-red drying modes, impulse ventilation, grain layer thickness, grain humidity, power consumption, the IR treatment.

Введение. Качественная сушка зерна, зернопродуктов и других сельскохозяйственных культур является неотъемлемым этапом обработки полученной продукции. Устойчивое состояние зерна при хранении обеспечивается в первую очередь сушкой. Лишь в том случае, когда из пищевого зерна или семян удалена свободная влага, продукция может оставаться в хорошем состоянии несколько месяцев [1].

По результатам современных исследований, одним из наиболее перспективных способов является сушка инфракрасным излучением (ИК) [2–4].

Однако при инфракрасном теплоподводе на поверхности зерна создается более высокая плотность теплового потока в (20–100 раз), чем при конвективном теплоподводе. Это приводит к очень быстрому нагреву зерна до предельно допустимой температуры, тогда как влажность его за короткий промежуток времени снижается незначительно. К тому же вследствие слабой проницаемости зерна инфракрасными лучами весь поток тепла сосредотачивается на поверхности зернового слоя. В глубину слоя толщиной в одно зерно проходит около 20 % всей подающей энергии, а через слой в два зерна – всего лишь 5 %. Поэтому для создания промышленной сушилки требуются большие поверхности,

на которых должно размещаться тонким слоем высушиваемое зерно [5].

Таким образом, сушка зернового материала при минимальном расходе энергии является актуальной задачей агропромышленного комплекса, решение которой должно включать в себя обоснование режимов ИК-обработки.

Цель работы. Определение рациональных режимов обработки зернового материала энергией ИК-излучения.

Методика и результаты исследований. Для выявления рациональных режимов обработки зернового материала ИК-лучами были разработаны методика проведения эксперимента, экспериментальная установка. В качестве источника ИК-излучения была использована инфракрасная зеркальная лампа марки ИКЗ-250. В эксперименте использовалась пшеница сорта Алтайская-70.

Для эксперимента предполагается использование зерна, влажность которого приближена к естественной влажности во время уборки и составляет около 23 %. В связи с тем, что в наличии не оказалось пшеницы с такой влажностью, было использовано уже высушенное зерно, влажность которого составляла 13 %. Для доведения пшеницы до естественной влажности была использована методика увлажнения зерна.

Подготовка материала осуществлялась следующим образом: за три дня до проведения исследования необходимо увлажнить зерно до заданной влажности, которую определяют с помощью влагомера «Фауна-М». Для равномерного распределения влажности по всей массе зерна его увлажняют следующим образом. Взвешивают образец сухого зерна G_n и определяют его влажность. Затем рассчитывают количество воды W , которое необходимо добавить к навеске, чтобы получить заданную влажность зерна ω_k^0 по формуле

$$W = G_n \cdot \frac{(\omega_k^0 - \omega_n^0)}{(100 - \omega_k^0)}, \quad (1)$$

где G_n – масса зерна при влажности ω_n^0 , кг; ω_n^0 ω_k^0 – влажность зерна соответственно до и после увлажнения, %.

При тщательном перемешивании в зерновую массу в течение первого дня добавляют воду

небольшими порциями. Увлажненное зерно ставят в холодильник или термостат и хранят при температуре 3.5°C два дня. В течение этого периода зерно тщательно перемешивают два-три раза в день.

Для данного эксперимента было заготовлено 3,5 кг пшеницы, влажность до увлажнения составляла 13 %, необходимая влажность была принята за 23 %. Исходя из этих данных, рассчитаем необходимое количество воды, используя выражение (1)

$$W = 3,5 \cdot \frac{(23-13)}{(100-13)} = 0,402 \text{ кг} = 402 \text{ г.}$$

После получения необходимой влажности сушка пшеницы осуществлялась на экспериментальной установке (рис. 1).

Снятие измерений проводилось при высоте подвеса облучателя $H=0,5$ м, начальная толщина слоя пшеницы была $h=0,006$ м; затем толщина слоя пшеницы была увеличена до 0,012 м. Температура регистрировалась термогигрометром CENTER-311. Зерновой материал при этом нагревался до температуры $T=38^\circ\text{C}$.

Данные во время эксперимента снимались каждые 15 минут, при этом материал перемешивался. Были получены следующие результаты (табл. 1, рис. 2).

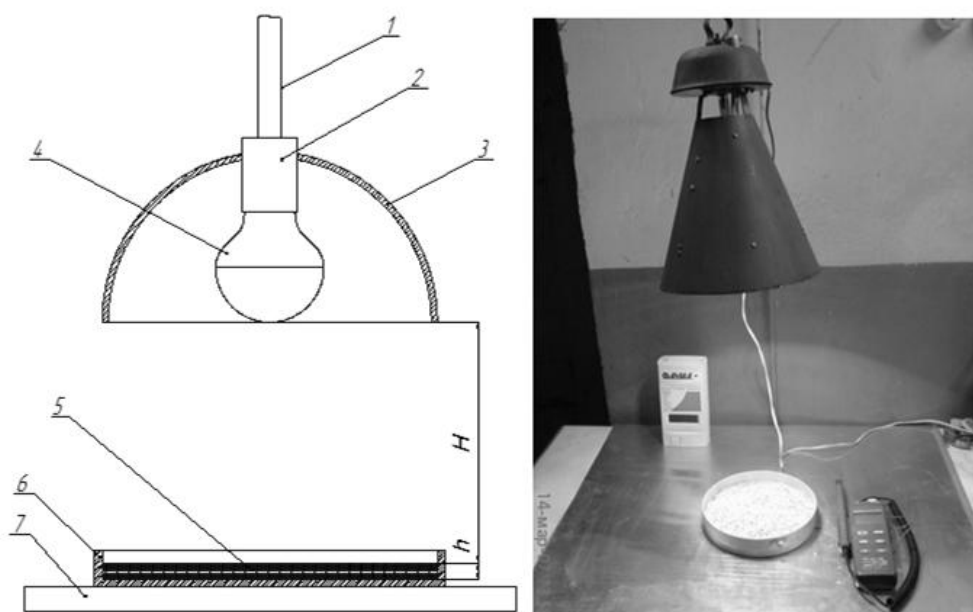


Рис. 1. Экспериментальная установка для сушки зерна ИК-излучением: 1 – крепление, подвес; 2 – патрон; 3 – отражатель; 4 – лампа ИКЗ-250; 5 – зерно; 6 – ванночка; 7 – рабочая поверхность (стол)

Таблица 1

Результаты измерений при высоте подвеса облучателя 0,5 м

Номер п/п	Время t, мин	Толщина слоя h, м	Опыт №1	
			Масса m, г	Влажность ω, %
1	2	3	4	5
1	0	0,006	131	23
2	15		125	20,2
3	30		123,2	16,3
4	45		120,6	14
1	0	0,012	276	23
2	15		274	27

1	2	3	4	5
3	30		270	26,5
4	45		266	22,8
5	60		253	22,3
6	75		248	21
7	90		245	20,2
8	105		242	19,2
9	120		238,2	18,2
10	135		236	17,3

Рассчитаем расход электроэнергии, кВт·ч

где $P_{л}$ – мощность лампы, кВт; t – время, затраченное на сушку, ч.

$$W = P_{л} \cdot t, \quad (2)$$

$$W_{0,006} = 0,25 \cdot 0,75 = 0,1875 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$W_{0,012} = 0,25 \cdot 2,25 = 0,5625 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

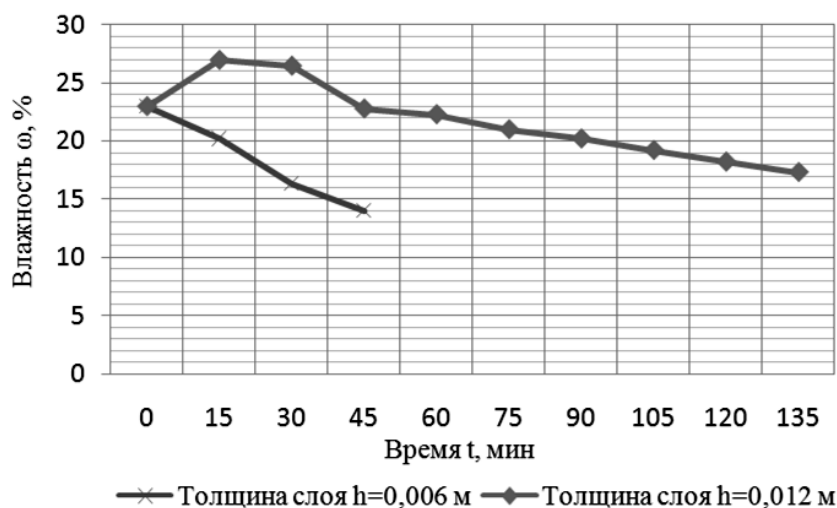


Рис. 2. График изменения влажности зерна при высоте подвеса облучателя 0,5 м

После получения результатов был сделан вывод, что при увеличении толщины слоя пшеницы дальнейшие эксперименты по сушке теряют смысл, так как влага, которая выделяется в результате нагрева, не успевает испаряться путём естественной конвекции и затрудняет снятие показаний, так как их поверхность оказывается смоченной и прибор регистрирует высокую влажность, которая не соответствует влажности самой пшеницы.

Было решено для устранения этого противоречия применить искусственную вентиляцию путём внесения изменений в установку и добавления осевого вентилятора (рис. 3) для ускорения процесса испарения влаги с поверхности зёрен.

После внесения изменений были проведены опыты при толщине слоя пшеницы $h=0,012$ м, при этом высота подвеса облучателя $H_1=0,5$ м, $H_2=0,2$ м. Результаты проведённых опытов представлены в таблице 2 и на рисунке 4.

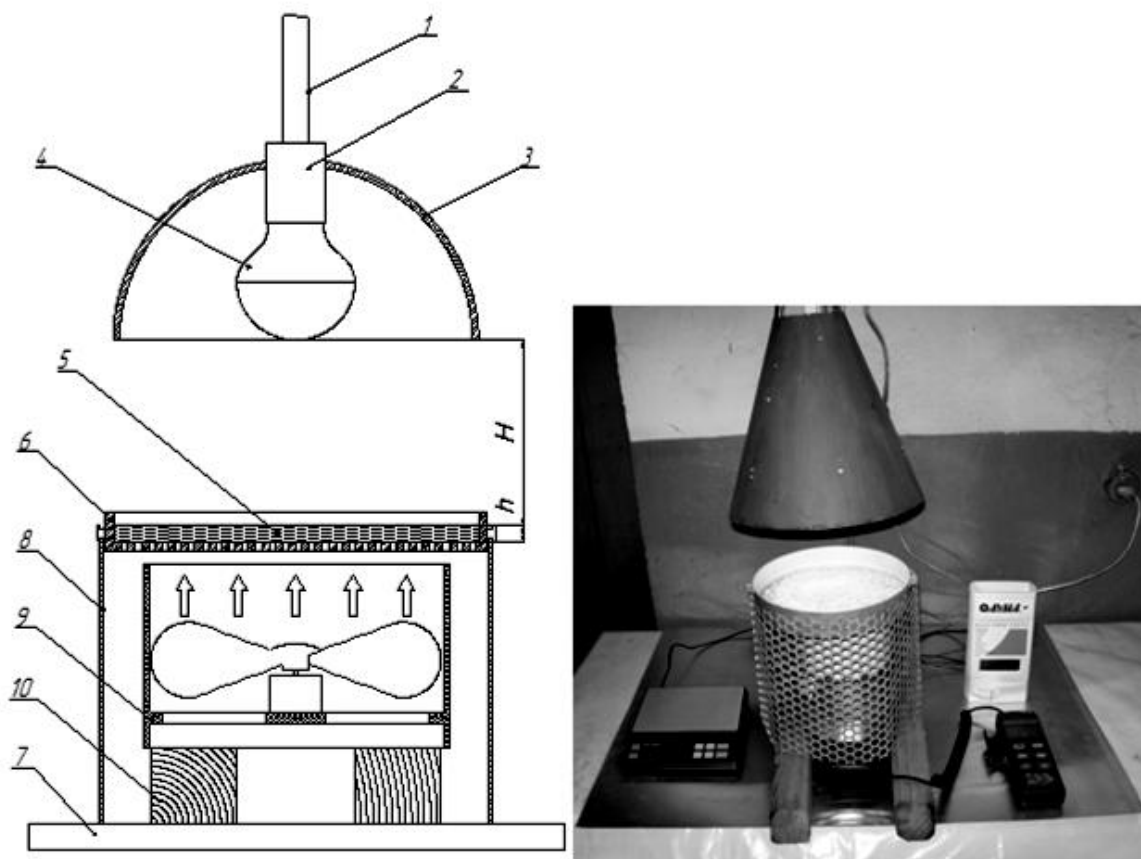


Рис. 3. Экспериментальная установка с искусственной вентиляцией: 1 – крепление, подвес; 2 – патрон; 3 – отражатель; 4 – лампа ИКЗ-250; 5 – зерно; 6 – ванночка; 7 – рабочая поверхность (стол); 8 – цилиндрическая опора с перфорацией для установки ванночки; 9 – вентилятор в корпусе; 10 – подставка вентилятора

Таблица 2

Результаты измерений с постоянной вентиляцией

Номер п/п	Высота подвеса Н, м	Время, t, мин	Толщина слоя h, м	Опыт №1	
				Масса m, г	Влажность ω, %
1	0,5	0	0,012	178,6	23
2		15		169	19
3		30		164,4	18,2
4		45		158,4	17,2
5		60		155,6	16,8
6		75		152,8	16,1
1	0,2	0	0,012	178,9	23
2		15		169,5	19,5
3		30		164	18,2
4		45		158,2	17,5
5		60		155,4	16,6
6		75		152	16

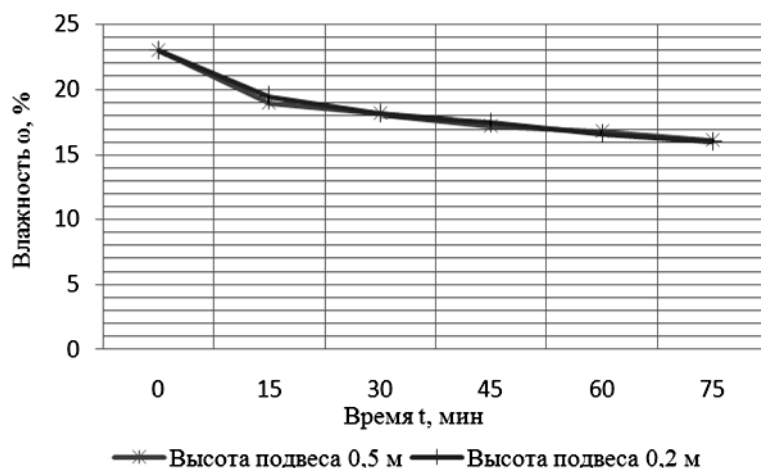


Рис. 4. График изменения влажности с применением постоянной искусственной вентиляции при $h=0,012$ м

Рассчитаем расход электроэнергии, кВт·ч, при искусственной вентиляции, используя выражение

$$W = (P_{\lambda} + P_B) \cdot t, \quad (3)$$

где P_{λ} – мощность лампы, кВт; P_B – мощность вентилятора, кВт; t – время, затраченное на сушку, ч.

$$W = (0,25 + 0,03) \cdot 1,25 = 0,35 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

В процессе проведения опытов было замечено, что постоянная вентиляция сильно снижает температуру нагрева пшеницы, тем самым увеличивая время её сушки. Было принято решение изменить режим вентиляции с постоянного режима на импульсный: вентилятор включается на 1 минуту каждые 4 минуты. Были проведены опыты при высоте подвеса облучателя 0,1 м. Опыты проводились в 3-кратной повторности для точности эксперимента. Результаты опытов представлены в таблице 3 и на рисунке 5.

Таблица 3

Результаты измерений с импульсной вентиляцией

Номер п/п	Время t, мин	Толщина слоя h, м	Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	Среднее значение	Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	Среднее значение
			Масса m, г				Влажность ω, %			
1	0	0,012	178,2	178,6	177,8	178,2	23	23	23	23
2	15		170	169	171	170	22,3	22,2	22,4	22,3
3	30		164,2	164,4	164	164,2	16,1	16,2	16	16,1
4	45		159	158	160	159	14,6	14,5	14,4	14,5
5	60		155,2	155,4	155	155,2	13,3	13,4	13,2	13,3
1	0	0,015	290	291	289	290	23	23	23	23
2	15		279,6	280	279,2	279,6	19,7	19,8	19,6	19,7
3	30		270,6	270,8	270,4	270,6	18,2	18,4	18	18,2
4	45		263,2	263,6	262,8	263,2	16,6	16,7	16,5	16,6
5	60		257,4	257,6	257,2	257,4	15,3	15,4	15,2	15,3
6	75		252,6	252,8	252,4	252,6	14,3	14,5	14,1	14,3
7	90		248	249	247	248	13,4	13,5	13,3	13,4
1	0	0,02	369	370,6	372,2	370,6	23	23	23	23
2	15		358,1	358,6	359,1	358,6	20	20,2	20,4	20,2
3	30		348,6	349	349,4	349	18,6	18,7	18,8	18,7
4	45		339,8	340,2	340,6	340,2	17,3	17,5	17,7	17,5
5	60		332,2	332,6	333	332,6	16	16,1	16,2	16,1
6	75		326	326,4	326,8	326,4	15	15,1	15,2	15,1
7	90		320,5	320,8	321,1	320,8	13,9	14	14,1	14
8	105		316	316,2	316,4	316,2	12,9	13	13,1	13

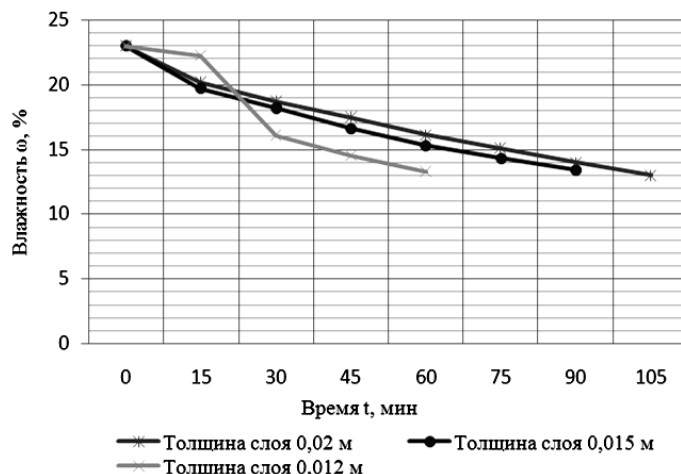


Рис. 5. График изменения влажности с применением импульсной искусственной вентиляции

Рассчитаем расход электроэнергии, кВт·ч, при импульсной искусственной вентиляции, используя выражение

$$W = P_n \cdot t + P_B \cdot \frac{t}{5}, \quad (4)$$

где P_n – мощность лампы, кВт; P_B – мощность вентилятора, кВт; t – время, затраченное на сушку, ч.

Рассчитаем энергоемкость ИК-обработки \mathcal{E} , кВт·ч/т, одной тонны пшеницы по трем вариантам толщины слоя (табл. 4).

Таблица 4

Расчет энергетических показателей

Толщина слоя h, м	Расход электроэнергии W, кВт·ч	Энергоемкость ИК-обработки \mathcal{E} , кВт·ч/т
0,012	0,256	1436,6
0,015	0,384	1324,14
0,02	0,448	1208,9

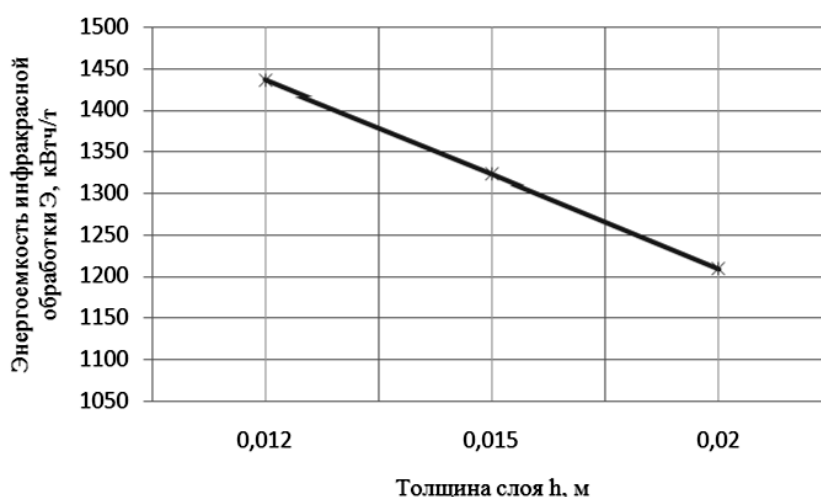


Рис. 6. График зависимости энергоемкости сушки зерна от толщины слоя

Выводы

1. Наиболее целесообразный режим сушки зерна пшеницы – высота подвеса облучателя 0,1 м над приемной поверхностью; импульсный режимом включения вентилятора: 4 минуты – пауза, 1 минута – работа, толщина слоя зерновой насыпи – 0,02 м.

2. Энергоёмкость процесса сушки составляет 1208,9 кВт·ч/т; стоимость обработки одной тонны пшеницы составит 1765 руб. (при стоимости 1 кВт·ч электроэнергии, равной 1,46 руб.).

Литература

1. *Музычева О.С., Беззубцева М.М.* Современные методы инфракрасной сушки зерна и зернопродуктов // *Международный студенческий научный вестник.* – 2015. – № 6. – URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=13418> (дата обращения: 08.10.2016).
2. *Проничев С.А.* Импульсная инфракрасная сушка семенного зерна: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2007. – 161 с.
3. *Голубкович А.В., Павлов С.А.* Новые технология и установка для инфракрасной сушки семян и зерна // *Сборник научных докладов ВИМ.* – М.: Изд-во ВИМ, 2011. – С. 385–392
4. Пат. 2282340 Российская Федерация, МПК⁷ А01С 1/00, А23L 3/26. Облучательная камера / *П.П. Долгих, Н.В. Кулаков, Е.В. Лоц*; заявитель и патентообладатель Красноярский государственный аграрный универси-

тет. – № 2004134983/12; заявл. 30.11.2004; опубл. 27.08.2006, Бюл. № 24.

5. *Резчиков В.А.* Теория и практика энергосбережения при сушке зерна: обзор. инф. Сер. Элеваторная промышленность. – М., 1991. – 51 с.

Literatura

1. *Muzycheva O.S., Bezzubceva M.M.* *Sovremennye metody infrakrasnoj sushki zerna i zernoproduktov* // *Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik.* – 2015. – № 6. – URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=13418> (data obrashhenija: 08.10.2016).
2. *Pronichev S.A.* *Impul'snaja infrakrasnaja sushka semennogo zerna: dis. ... kand. tehn. nauk.* – М., 2007. – 161 s.
3. *Golubkovich A.V., Pavlov S.A.* *Novye tehnologija i ustanovka dlja infrakrasnoj sushki semjan i zerna* // *Sbornik nauchnyh dokladov VIM.* – М.: Izd-vo VIM, 2011. – S. 385–392
4. Пат. 2282340 Rossijskaja Federacija, МПК⁷ А01С 1/00, А23L 3/26. Облучательная камера / *Р.Р. Долгих, Н.В. Кулаков, Е.В. Лоц*; заявитель и патентообладатель Красноярский государственный аграрный университет. – № 2004134983/12; заявл. 30.11.2004; опубл. 27.08.2006, Бюл. № 24.
5. *Rezchikov V.A.* *Teorija i praktika jenergosberezhenija pri sushke zerna: obzor. inf. Ser. Jelevatornaja promyshlennost'.* – М., 1991. – 51 s.

