Тип статьи: научная
УДК 631.563.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-34-42

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СУШИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАННОГО АГЕНТА СУШКИ

***Николай Николаевич Кузнецов[1], Виктор Николаевич Вершинин[2], Владислав Евгеньевич Никифоров[3], Геннадий Александрович Симонов[4], Ольга Борисовна Филиппова[5]***
[1,2] *Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н. В. Верещагина, г. Вологда, Россия*
[1]027781@mail.ru, [2] viknikver@mail.ru
[3,4] *Вологодский научный центр Российской академии наук, г. Вологда, Россия*
[3] nfrv_123@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1175-2526
[4] sznii@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4559-233X
[5] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[5] filippova175@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9810-9319

Автор, ответственный за переписку: Ольга Борисовна Филиппова, filippova175@yandex.ru
Corresponding author: Olga Filippova, filippova175@yandex.ru

***Реферат.*** *Из-за особенностей климатических условий во многих регионах Российской Федерации влажность заготавливаемого зерна повышена. Эффективность работы сушильных устройств определяется использованием энергосберегающих технологий. В технологическом процессе сушки зерна предложено повторное использование отработанного теплоносителя в сушилках. Проведена оценка основных факторов, влияющих на процесс сушки влажного зернового вороха. Выполнено моделирование сушки зерна при подаче в топочное устройство сушилки подогретого воздуха, полученного при охлаждении зерна после сушки. Для расчета технологических показателей использовалась специальная программа для ЭВМ. Программа позволяет определить экономически целесообразный режим работы сушильного оборудования в процессе послеуборочной обработки зерна. Для работы с программой определены числовые значения переменных величин, которые устанавливаются в зависимости от режима обработки зерна и производительности дозатора и сушилки. В ходе моделирования данного процесса определён расход дизельного топлива и природного газа на сушку зерна, в зависимости от влажности зернового вороха и производительности сушилки. Был определен часовой расход дизельного топлива и природного газа на сушку зерна в зависимости от влажности зернового вороха. Производительность сушилки изменялась от 5 до 40 т/ч. Результаты моделирования расхода топлива, показали, что сушка зерна с использованием тепла, полученного при охлаждении семян и направленного в топочные блоки сушилок, позволяет снизить потребление топлива на 20%.*

***Ключевые слова:*** *зерно, технология сушки, влагосодержание, тепло, расход топлива, моделирование сушки зерна.*

# IMPROVING THE EFFICIENCY OF DRYING DEVICES BY USING THE HEAT OF THE SPENT DRYING AGENT

***Nikolay Kuznetsov [1], Viktor Vershinin [2], Vladislav Nikiforov [3], Gennady Simonov [4], Olga Filippova [5]***
[1,2] *Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, Vologda, Russia*
[1] 027781@mail.ru, [2] viknikver@mail.ru
[3,4] *Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia*
[3] nfrv_123@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1175-2526

[4] sznii@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4559-233X
[5] *All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[5] filippova175@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9810-9319

***Abstract.*** *The humidity of harvested grain in many regions of the Russian Federation is higher due to the peculiarities of climatic conditions. The efficiency of drying devices is determined by the use of energy-saving technologies. Reuse of waste coolant in dryers is proposed in the technological process of grain drying. The assessment of the main factors influencing the process of drying a wet grain heap has been carried out. Simulation of grain drying when heated air, obtained by cooling the grain after drying, is supplied to the combustion device of the dryer. A special computer program was used to calculate technological indicators. The program allows you to determine the economically feasible mode of operation of the drying equipment in the process of post-harvest processing of grain. The numerical values of the variables that are set depending on the grain processing mode and the productivity of the dispenser and dryer are defined for working with the program. The consumption of diesel fuel and natural gas for drying grain, depending on the moisture content of the grain heap and the productivity of the dryer, was determined during the simulation of this process. The hourly consumption of diesel fuel and natural gas for drying grain, depending on the moisture content of the grain heap, was determined. The dryer capacity varied from 5 to 40 t/h. The results of fuel consumption modeling showed that drying grain using the heat obtained by cooling the seeds and sent to the furnace units of the dryers can reduce fuel consumption by 20%.*

***Keywords:*** *grain, drying technology, moisture content, heat, fuel consumption, grain drying simulation.*

**Для цитирования:** Кузнецов Н.Н., Вершинин В.Н., Никифоров В.Е., Симонов Г.А., Филиппова О.Б. Повышение эффективности работы сушильных устройств путем использования теплоты отработанного агента сушки // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023, Т. 61, № 1. С. 34-42. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-34-42.

**For citation:** Kuznetsov N.N., Vershinin V.N., Nikiforov V.E., Simonov G.A., Filippova O.B. Improving the efficiency of drying devices by using the heat of the spent drying agent. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 34-42. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-34-42.

**Введение.** Снижение потерь зерна при его производстве и продуктов его переработки является главной задачей для предприятий АПК в комбикормовой и пищевой промышленности. Из-за особенностей климатических условий во многих регионах Российской Федерации влажность заготавливаемого зерна повышена. Сушка зерна является наиболее быстрым и эффективным способом подготовки семян для длительного хранения и улучшения их кондиционных свойств. Сушка зерна – сложный и достаточно затратный технологический процесс, который обеспечивает сохранность и улучшение качества зерна и семян [1]. Проблема энергосбережения при сушке зерна особенно важна, так как до 50 % от общих затрат на производство зерна занимают энергетические затраты на работу зерносушилок различных типов. Причем около 90% таких затрат приходится на долю используемого топлива. Вместе с тем зерносушилки имеют большие затраты энергии на получение тепла при работе тепловых установок.

Общее повышение цен в последние годы привело к увеличению энергозатрат при производстве продукции растениеводства. Так увеличение стоимости на дизельное топливо за 5-летний период составило 25 % [2]. Повышение эффективности работы сушильных устройств и совершенствование способов сушки в направлении энергосбережения является актуальной задачей.

Уменьшить энергозатраты при сушке зерна можно различными способами. Один из них заключается в использовании теплоты отработанного сушильного агента. При этом слабонасыщенный влагой теплоноситель возвращается в топочные устройства сушилок. В настоящее время наиболее перспективным является внедрение интенсифицированной технологии

сушки зерна. Данный комбинированный способ позволяет осуществлять рециркуляцию процесса сушки, что обеспечивает требуемый съем влаги из сырого зерна за один пропуск через сушилку [3, 4]. Теплота, которая расходуется на испарение влаги, является полезным расходом и одновременно тепло, которое расходуется на нагрев атмосферного воздуха, относится к непроизводительным потерям. Поэтому следует стремиться осуществлять процесс сушки с минимальными непроизводительными потерями теплоты с отработавшим воздухом.

Существуют способы рекуперации, с помощью которых повторно используют теплоту отработавшего агента сушки. Например, отработавший агент сушки проходит через теплообменник на выходе, который частично передает тепло к поступающему в сушилку наружному воздуху, снижая тем самым затраты тепловой энергии. Также используется способ повторного использования отработанного сушильного агента с возвратом в сушилку при смешивании его с атмосферным воздухом.

Согласно агротехническим требованиям температура зерна на выходе из зерносушилки не должна превышать температуру окружающего воздуха более чем на 10°С. По данной технологии на современных сушилках охлаждение зерна после сушки осуществляется в охладительных устройствах, за счет продувки его наружным воздухом. Одним и наиболее эффективных способов снижения энергозатрат является повторное использование отработанного тепла агента сушки.

**Материалы и методы исследований.** В ходе работы проведена оценка работы сушильных устройств с использованием теплоты отработанного агента сушки. С целью определения эффективности данного способа выполнено моделирование сушки зерна при подаче в топочное устройство сушилки не подогретого и подогретого воздуха в зависимости от влажности зернового вороха и производительности сушилок.

Проведена оценка влияния некоторых факторов на процесс сушки влажного зерна. Разработана программа имитационной модели для ЭВМ № 2022615454 «Имитационная модель сушки зернового вороха с подачей в топочный блок сушилки подогретого воздуха, полученного при охлаждении зерна после сушки». Язык программирования: GPSS World.

Программой задаются входные данные, в результате определяется количество обработанного влажного материала (зернового вороха), среднее время сушки 1 кг материала, часовой расход источника энергии (дизельного топлива или газа). Реализация модели определяет экономически целесообразный режим работы сушильного оборудования при подаче в топочные устройства сушилок тепла, полученного при охлаждении высушенного зерна.

**Результаты и их обсуждение**. В типовых зерноочистительных сушильных комплексах используются сушилки, которые, как правило, не имеют охладительных модулей. Для охлаждения зерна, прошедшего сушку, предусмотрены бункеры (охладительные колонки) с активным вентилированием. В таких колонках охлаждающий воздух нагревается в зависимости от температуры зерна на 15...25 °С и выходит с относительной влажностью 8...12 %. Тепло, полученное при охлаждении зерна не используется, а теряется, то есть выбрасывается с воздухом в атмосферу.

Охладительные колонки по сути своей являются калориферами. Подогретый в таких калориферах воздух целесообразно направлять в топочные устройства сушилок, что позволяет уменьшить расход топлива при последующем нагреве. На рисунке 1 представлена схема процесса сушки с охлаждением зернового вороха и подачей тепла в топочный блок сушилки, полученного непосредственно при охлаждении семян.

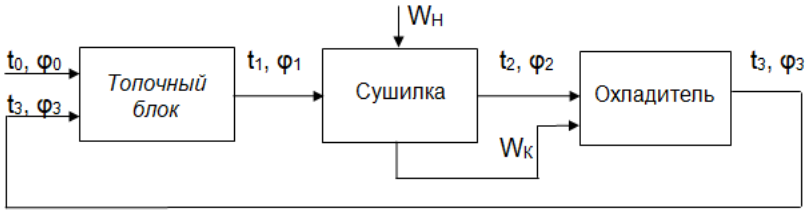


Рисунок 1 – Схема процесса сушки с подачей тепла от охладителя

Наружный воздух с начальными показателями температуры ($t_0$), относительной влажности ($\varphi_0$), влагосодержания ($d_0$) и энтальпии (теплосодержания) ($J_o$) поступает в теплообменник топочного блока, где нагревается и нагнетается далее в сушильную камеру с измененными параметрами ($t_1$, $\varphi_1$, $d_1$ и $J_1$). При этом нагрев воздуха в теплообменнике не меняет содержание в нем водяного пара ($d_1 = d_0$). Возрастает температура и энтальпия, но снижается относительная влажность. Одновременно в сушильную камеру поступает зерно определенной температуры ($t_0$) и влажности ($W_H$).

В сушильной камере между нагретым воздухом (теплоносителем) и зерном происходит тепловлагообмен. Воздух, нагревая влажное зерно, поглощает испаряющуюся из него влагу. Параметры воздуха на выходе из сушильной камеры принимают значения: $t_2$, $\varphi_2$, $d_2$, $J_2$.

Нагретое зерно с параметрами температуры ($t_2$) и влажности ($W_K$) переходит из сушильной камеры в охладительную камеру, где продувается наружным воздухом с начальными показателями вышеуказанных параметров ($t_0$, $\varphi_0$, $d_0$, $J_o$). Наружный воздух оказывает охлаждающее действие на теплое зерно, нагревается и на выходе из охладительной камеры значения параметров меняются ($t_3$, $\varphi_3$, $d_3$, $J_3$).

Следует отметить, что теплообмен между зерном и охлаждающим воздухом в охладительной камере сопровождается увеличением температуры $t_0$ до $t_3$, энтальпии $J_0$ до $J_3$ и уменьшением относительной влажности с $\varphi_0$ до $\varphi_3$ при постоянном влагосодержании ($d_3 = d_0$) охлаждающего воздуха. Входные и выходные параметры процесса, а также факторы внешней среды представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры и факторы процесса тепловлагообмена

| Входные параметры | Факторы внешней среды | Выходной параметр |
|---|---|---|
| 1. Температура теплоносителя на выходе из топочного блока $t_1$, °С<br>2. Температура теплоносителя на выходе из сушильной камеры $t_2$, °С<br>3. Температура воздуха на выходе из охладителя $t_3$, °С<br>4. Конечная влажность зерна $Wк$, % | 1. Температура воздуха $t_o$,°С<br>2. Относительная влажность $\varphi_o$, %<br>3. Начальная влажность зерна $Wн$, % | Часовой расход источника энергии при сушке зерна $G_T$, кг/ч |

Для обоснования экономической целесообразности данной технологии необходимо было выполнить расчеты часового расхода топлива в двух вариантах сушки – без использования подогретого воздуха и с его использованием. В ходе исследований реализован модельный эксперимент, в котором рассчитывался часовой расход топлива для сушки зернового вороха при конкретных условиях [5, 6].

Для работы с программой определены числовые значения переменных величин, которые устанавливаются в зависимости от режима обработки зерна и производительностей дозатора и сушилки. Значения переменных величин рабочего процесса представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Переменные величины, используемые при моделировании

| Название и единица измерения переменной величины | Условн. обозн. | Вариант 1 (без подогрева) | | Вариант 2 (с подогревом) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Природн. газ | Диз. топливо | Природн. газ | Диз. топливо |
| Среднее время сушки 1 кг зернового вороха сушилкой ($t_c$), с/кг | $T_1$ | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Среднее время подачи 1 кг зернового вороха при разных вариантах дозирования ($t_п$), с/кг | $T_2$ | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Начальная влажность зернового вороха, % | $W_H$ | 26 | 26 | 26 | 26 |
| Конечная (кондиционная) влажность зернового вороха, % | $W_K$ | 14 | 14 | 14 | 14 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Влагосодержание теплоносителя на выходе из сушильной камеры, г/кг | $d_2$ | 21,5 | 21,5 | 21,5 | 21,5 |
| Влагосодержание воздуха на входе в топочный блок, г/кг | $d_1$ | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Энтальпия теплоносителя на выходе из сушильной камеры, кДж/кг | $J_2$ | 85 | 85 | 85 | 85 |
| Энтальпия воздуха на входе в топочный блок, кДж/кг | $J_0$ | 38 | 38 | 54 | 54 |
| Удельная теплота сгорания дизельного топлива (газа), кДж/кг (м$^3$) | $Q_C$ | 33270 | 42620 | 33270 | 42620 |
| Коэффициент полезного действия топочного блока (теплообменника) | η | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

Реализация данной модели предполагает определение экономически целесообразного режима работы сушилки при подаче в топочный теплообменник не подогретого воздуха или теплого воздушного потока, полученного от сушилки при охлаждении высушенного зерна.

В таблице 3 сведены и представлены результаты моделирования при работе сушилки.

Таблица 3 – Результаты моделирования

| Параметры | Вариант 1 (без подогрева) | | Вариант 2 (с подогревом) | |
|---|---|---|---|---|
| | Природный газ | Дизельное топливо | Природный газ | Дизельное топливо |
| Общее время работы ЗОСП, с | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 |
| Поступило зернового вороха с поля, кг | 10001 | 10001 | 10001 | 10001 |
| Обработано зернового вороха, кг | 5096 | 5096 | 5096 | 5096 |
| Получено сухого зерна, кг | 4396 | 4396 | 4396 | 4396 |
| Количество испаренной влаги, кг/ч | 700 | 700 | 700 | 700 |
| Процент загрузки оборудования, %<br>- дозатор<br>- сушилка | <br>98,7<br>98,5 | <br>98,7<br>98,5 | <br>98,7<br>98,5 | <br>98,7<br>98,5 |
| Время обработки 1 кг зерна, с<br>- подача в сушилку<br>- сушка | <br>0,602<br>0,696 | <br>0,602<br>0,696 | <br>0,602<br>0,696 | <br>0,602<br>0,696 |
| Часовой расход топлива $G_m$, кг (м$^3$)/ч | 158,2 | 123,2 | 104,3 | 81,2 |
| Удельный расход топлива $q$, кг (м$^3$)/т | 31,04 | 24,18 | 20,47 | 15,93 |

Выполнялось моделирование сушки зерна при подаче в топочное устройство сушилки не подогретого и подогретого воздуха, при разной влажности зернового вороха. Влажность зернового вороха в процессе сушки изменяется от 16 до 30 % [7-9]. По отчётам моделирования определен часовой расход дизельного топлива и природного газа на сушку зерна в зависимости от влажности зернового вороха. Данные моделирования представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Часовой расход дизельного топлива и природного газа на сушку зерна в зависимости от влажности зернового вороха

| Влажность зернового вороха, % | Дизельное топливо, кг/ч | | Природный газ, м$^3$/ч | |
|---|---|---|---|---|
| | Без подогрева | С подогревом | Без подогрева | С подогревом |
| 16 | 21,8 | 14,4 | 28,0 | 18,5 |
| 18 | 45,0 | 29,7 | 57,9 | 38,1 |
| 20 | 63,4 | 41,8 | 81,4 | 53,6 |
| 22 | 82,4 | 54,3 | 105,8 | 69,7 |
| 24 | 103,0 | 67,9 | 132,2 | 87,2 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 26 | 124,3 | 81,9 | 159,6 | 105,2 |
| 28 | 142,8 | 94,1 | 183,3 | 120,8 |
| 30 | 162,8 | 107,3 | 209,1 | 137,8 |

Часовой расход дизельного топлива на сушку зерна в зависимости от влажности зернового вороха представлен на рисунке 2.

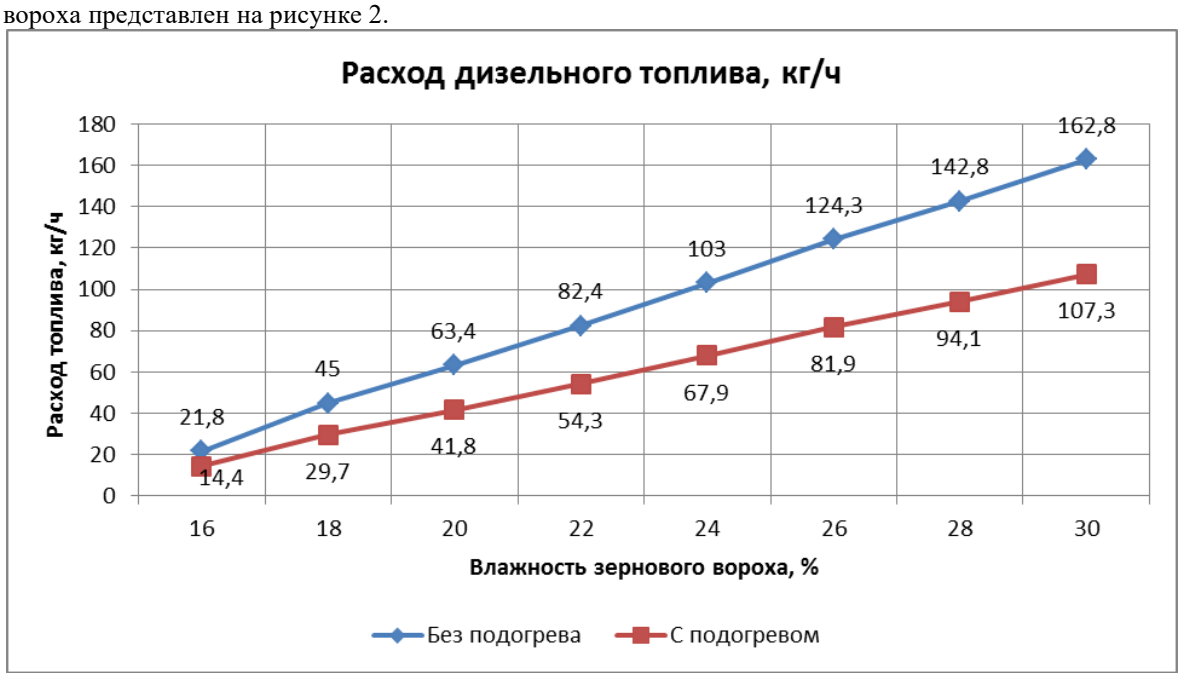


Рисунок 2 – Часовой расход дизельного топлива на сушку зерна в зависимости от влажности зернового вороха

Часовой расход природного газа на сушку зерна в зависимости от влажности зернового вороха представлен на рисунке 3.

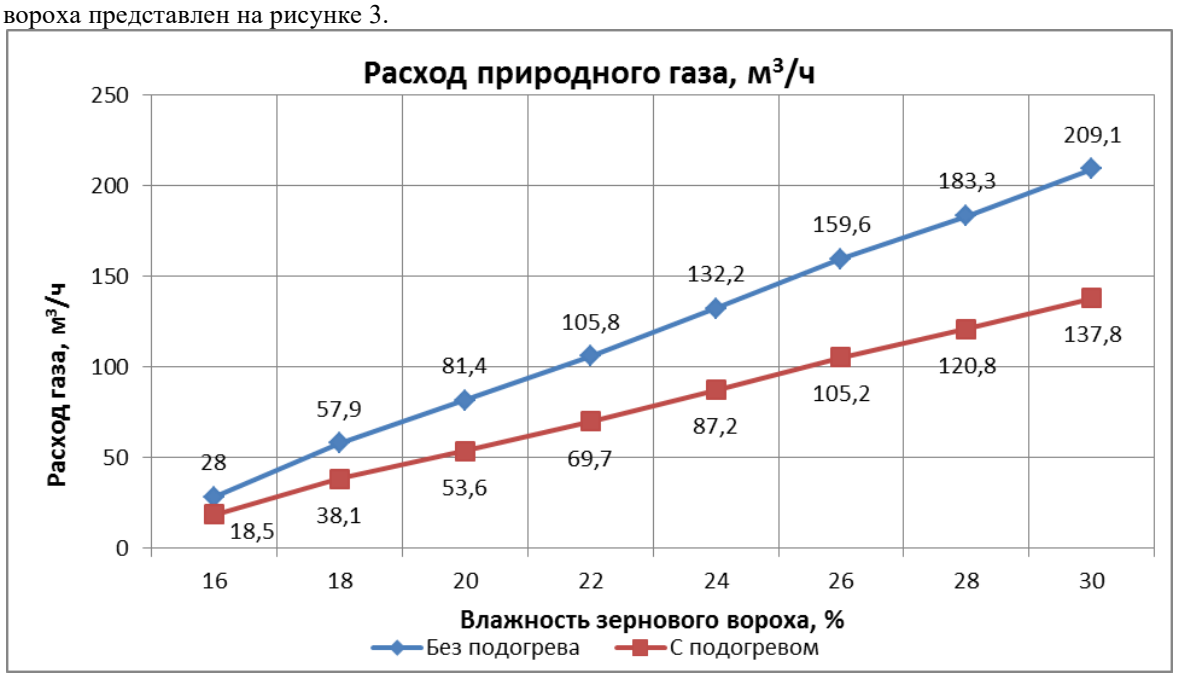


Рисунок 3 – Часовой расход природного газа на сушку зерна в зависимости от влажности зернового вороха

На втором этапе выполнили моделирование сушки зерна при подаче в топочное устройство сушилки не подогретого и подогретого воздуха, при разной производительности сушилки. Начальная влажность зернового вороха во всех опытах была принята $W_H$ = 20 %.

Производительность сушилки изменялась от 5 до 40 т/ч. По отчётам моделирования определялся часовой расход дизельного топлива и природного газа на сушку зерна, в зависимости от производительности сушилки. Данные моделирования представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Часовой расход дизельного топлива и природного газа на сушку зерна в зависимости от производительности сушилки

| Производительность сушилки, т/ч | Дизельное топливо, кг/ч | | Природный газ, $м^3$/ч | |
|---|---|---|---|---|
| | Без подогрева | С подогревом | Без подогрева | С подогревом |
| 5 | 61,4 | 39,4 | 78,9 | 52,0 |
| 10 | 117,2 | 82,7 | 150,5 | 99,2 |
| 15 | 183,0 | 117,0 | 235,0 | 155,0 |
| 20 | 240,4 | 158,1 | 308,7 | 203,5 |
| 25 | 312,0 | 200,9 | 400,7 | 264,2 |
| 30 | 362,7 | 233,9 | 465,8 | 307,1 |
| 35 | 436,7 | 287,8 | 560,7 | 369,7 |
| 40 | 472,7 | 311,6 | 607,0 | 400,2 |

Часовой расход дизельного топлива на сушку зерна в зависимости от производительности сушилки представлен на рисунке 4.

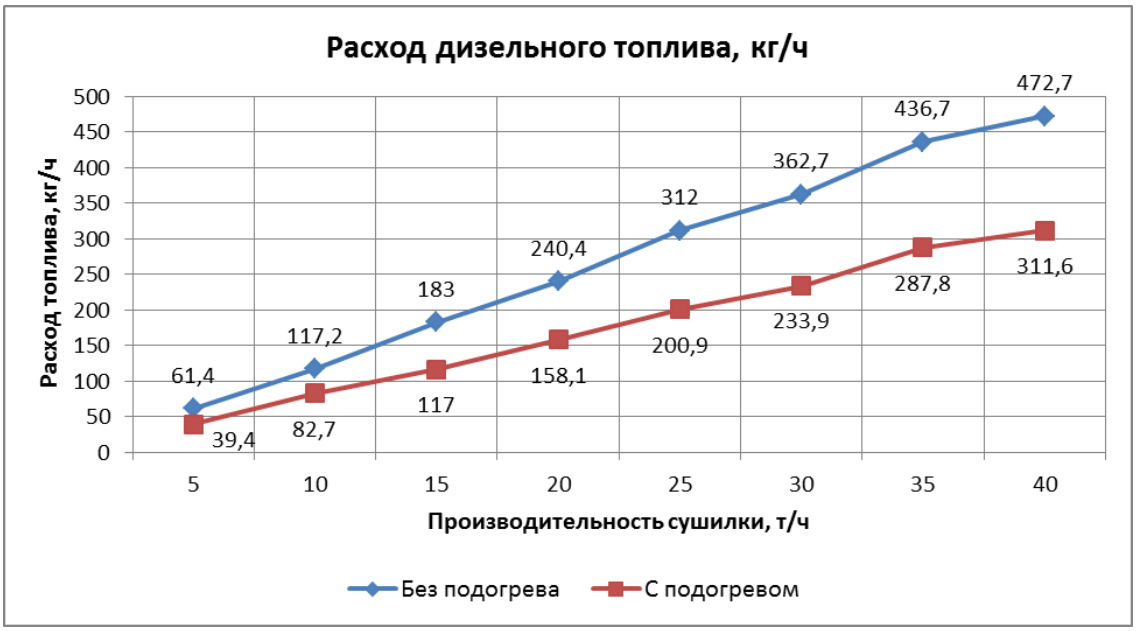


Рисунок 4 – Часовой расход дизельного топлива на сушку зерна в зависимости от производительности сушилки

Часовой расход природного газа на сушку зерна в зависимости от производительности сушилки представлен на рисунке 5.

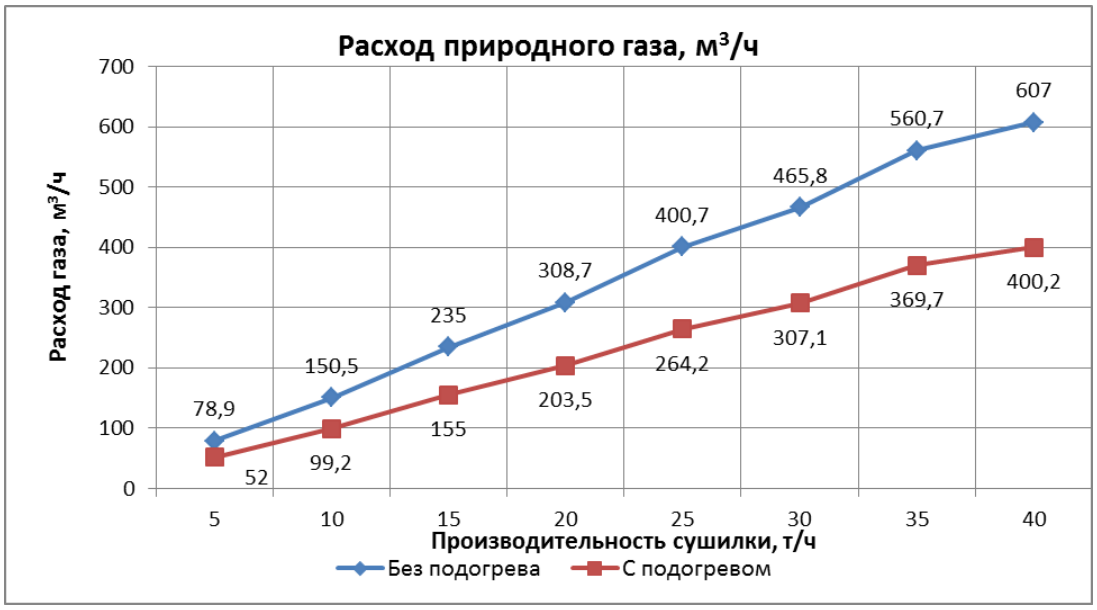


Рисунок 5 – Часовой расход природного газа на сушку зерна в зависимости от производительности сушилки

На приведённых графиках показано, что часовой расход топлива на сушку повышается пропорционально в зависимости от влажности зернового вороха и производительности сушилки.

Результаты моделирования и данные по расходу топлива на сушку зерна указывают на то, что предлагаемая технология сушки может дать значительную экономию, как природного газа, так и дизельного топлива. Кроме того, этот технологический процесс сушки может быть использован при заготовке высококачественного сена, что является необходимым условием в кормлении высокопродуктивного скота и увеличения срока хозяйственного использования животных [10, 11].

**Заключение.** Оптимизация послеуборочной обработки зерна является не только одним из способов получения кондиционных семян, но и способствует снижению энергетических производственных затрат. Реализация разработанной технологии, основанной на использовании теплоты отработанного агента сушки, позволяет снизить потребление топлива на 20 % и может применяться на различных сушильных установках.

**Список источников**

1. Васильев А.Н., Удинцова Н.М. Анализ параметров воздушно-тепловой обработки для улучшения посевных качеств семян // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000. № 1. – С. 9-10.

2. Электронный ресурс. Росиформстат. https://rosinfostat.ru/tseny-na-benzin/ (дата обращения: 23.12.2022).

3. Баум А.Е., Резчиков В.А. Сушка зерна. – М.: Колос, 1983. – 223 с.

4. Голубкович А.В., Лукин И.Д. Периодическая сушка зерна повышенной влажности // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – № 2 (12). – С. 9-13.

5. Кузнецов Н.Н., Шушков Р.А., Вершинин В.Н. Имитационное моделирование работы технологической линии послеуборочной обработки семенного зерна // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 57. – С. 235-240.

6. Кузнецов Н.Н., Алексеев Е.П. Исследование технологии сушки зерна с подачей тепла, полученного при его охлаждении, в топочные устройства сушилок // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 4 (19). – С. 117-121.

7. Немировский А.Е., Никифоров В.Е. Повышение эффективности контроля сушки зерна // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2017. – № 2 (48). – С. 34-40.

8. Инновационные технологии производства сельскохозяйственной продукции / Г.А. Симонов, А.В. Маклахов, В.К. Углин, В.Е. Никифоров. – Вологда-Молочное, 2021. –165 с.

9. Научные и практические аспекты развития АПК Вологодской области / А.В. Маклахов [и др.]. – Вологда, 2022. – 366 с.

10. Технология заготовки высококачественного сена вне зависимости от погодных условий / В.К. Углин [и др.] // АгроФорум. – 2020. – № 4. – С. 66-70.

11. Филиппова О.Б., Кийко Е.И. Условия кормления коров и причины их преждевременного выбытия из производственного цикла // Главный зоотехник. – 2016. – № 5. – С. 19-26.

**References**

1. Vasiliev A.N., Udintsova N.M. Analysis of the parameters of air-heat treatment to improve the sowing qualities of seeds // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva (Mechanization and electrification of agriculture). 2000. No. 1. pp. 9-10.

2. Electronic resource. Rosiformstat. https://rosinfostat.ru/tseny-na-benzin/ (access date: 23.12.2022).

3. Baum A.E., Rezchikov V.A. Grain drying. Moscow: Kolos, 1983. 223 p.

4. Golubkovich A.V., Lukin I.D. Periodic drying of grain with high humidity // Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii (Agricultural machines and technologies). 2018. No. 2 (12). Pp. 9-13.

5. Kuznetsov N.N., Shushkov R.A., Vershinin V.N. Simulation modeling of the operation of the technological line for post-harvest processing of seed grain // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Bulletin of the Chuvash State Agricultural Academy). 2019. No. 57. Pp. 235-240.

6. Kuznetsov N.N., Alekseev E.P. Research of technology of grain drying with the supply of heat obtained during its cooling into the furnace devices of dryers // Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii (Bulletin of the Chuvash State Agricultural Academy). 2021. No. 4 (19). Pp. 117-121.

7. Nemirovskiy A.E., Nikiforov V.E. Improving the efficiency of grain drying control // Vesti vysshikh uchebnykh zavedeniy Chernozem'ya (Conduct of higher educational institutions of the Chernozem region). 2017. No. 2 (48). Pp. 34-40.

8. Innovative technologies of agricultural production / G.A. Simonov, A.V. Maklakhov, V.K. Uglin, V.E. Nikiforov. Vologda-Molochnoye, 2021. 165 p.

9. Scientific and practical aspects of the development of the agro-industrial complex of the Vologda region / A.V. Maklakhov [et al.]. Vologda, 2022. 366 p.

10. Technology of harvesting high-quality hay regardless of weather conditions / V.K. Uglin [et al.] // AgroForum. 2020. No. 4. Pp. 66-70.

11. Filippova O.B., Kiiko E.I. Conditions of feeding cows and the reasons for their premature retirement from the production cycle // Glavnyy zootekhnik (Chief Zootechnician). 2016. No. 5. Pp. 19-26.

**Информация об авторах**

Н.Н. Кузнецов – кандидат технических наук, доцент; В.Н. Вершинин – кандидат технических наук, доцент; В.Е. Никифоров – старший научный сотрудник; Г.А. Симонов - доктор сельскохозяйственных наук; О.Б. Филиппова - доктор биологических наук.

**Information about the authors**

N. Kuznetsov - candidate of technical sciences, associate professor; V. Vershinin - candidate of technical sciences, associate professor; V. Nikiforov - Senior Researcher; G. Simonov - Doctor of Agricultural Sciences; O. Filippova - Doctor of Biological Sciences.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

***Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.***

**Contribution of the authors:** all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

***The authors declare no conflicts of interests.***

Поступила в редакцию (Received): 10.01.2023 Принята к публикации (Accepted): 15.02.2023