

# TECHNICAL SCIENCES

## RESEARCH OF THE KINETICS OF DRYING OF TYPHA FLUFF DRYING

**Protasov S.,**

*Ph.D Engineering, assistant, assistant professor Department of Physical chemistry of materials and production technologies Belarusian State Economic University, Minsk*

**Borovik A.,**

*Ph.D Engineering, assistant, assistant professor Department of Physical chemistry of materials and production technologies Belarusian State Economic University, Minsk*

**Gorovykh O.,**

*Ph.D Engineering, assistant, head of laboratory Minsk City Technopark, LLC «Belspetskomplekt», Minsk*

**Braikova A.**

*PhD in Chemistry, assistant, Head of the Department of Physical chemistry of materials and production technologies Belarusian State Economic University, Minsk*

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СУШКИ ПУХА РОГОЗА

**Протасов С. К.,**

*к.т.н., доцент, доцент кафедры «Физикохимии материалов и производственных технологий» Белорусского государственного экономического университета, Минск*

**Боровик А.А.,**

*к.т.н., доцент, доцент кафедры «Физикохимии материалов и производственных технологий» Белорусского государственного экономического университета, Минск*

**Горовых О.Г.,**

*к.т.н., доцент, начальник лаборатории ООО «Белспецкомплект» Минского городского технопарка, Минск*

**Брайкова А.М.**

*к.х.н., доцент, заведующий кафедрой «Физикохимии материалов и производственных технологий» Белорусского государственного экономического университета, Минск*

**DOI: 10.24412/3453-9875-2021-70-1-36-41**

### Abstract

A diagram of a setup for studying the kinetics of drying typha fluff by weight method according to an improved measurement technique is presented. The curves of drying and curves of the drying rate of typha fluff at different initial moisture content are presented. The conditions for long-term storage of typha fluff have been determined.

### Аннотация

Приведена схема установки для исследования кинетики сушки пуха рогоза весовым способом по усовершенствованной методике измерений. Представлены кривые сушки и кривые скорости сушки пуха рогоза при различном начальном влагосодержании. Определены условия, обеспечивающие длительное хранение пуха рогоза.

**Keywords** typha fluff, drying kinetics, equilibrium, storage conditions.

**Ключевые слова** пух рогоза, кинетика сушки, равновесие, условия хранения.

### Введение

В настоящее время пух рогоза предлагается использовать как сорбент при проведении работ по ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на водной поверхности [1]. Рогоз – высшее водное растение, которое растет по берегам водоёмов, на мелководьях, на травяных болотах, а также в разнообразных сырых и мокрых местах: канавах, кюветах, заброшенных карьерах, по обочинам дорог. Стебель рогоза заканчивается цилиндрическим початком темно-бурого цвета. Початок состоит из множества пушинок, которые плотно в нем упакованы. Пушинки расположены вокруг стебля, обеспечивающего их питанием. Сама пушинка состоит из стволика и ворсинок, образующих древовидную структуру. После созревания и

естественной сушки початка пушинки самопроизвольно отделяются от стебля, и рассеиваются в окружающем пространстве. Для использования пуха в качестве сорбента, початки необходимо собирать в период их созревания. В этом случае свежесобраные початки рогоза имеют высокое влагосодержание в пределах 1,4–1,6 кг воды/кг материала, которое способствует развитию микроорганизмов, плесени, грибов и других нежелательных живых объектов, что существенно влияет на качество сорбента. Для длительного хранения пуха необходимо снизить количество влаги до величины, при которой исключается возможность жизнедеятельности плесневых грибов и микроорганизмов. Данные по хранению пуха рогоза в литературных источниках

отсутствуют. Установлено [2], что большинство видов растительного сырья хорошо хранится при влажносте содержания 12–15 %. В работе [3] авторы провели исследования по определению равновесного влажносте содержания пуха рогоза в помещении с температурой воздуха 19 °C и относительной влажностью 49 % и установили, что оно составляет 11 %. Это на 1 % меньше минимального влажносте содержания для растительного сырья. Таким образом, можно предположить, что для обеспечения длительного хранения пух рогоза необходимо сушить до влажносте содержания 0,11 кг<sub>влаги</sub>/кг<sub>сух.матер.</sub>.

Сушку пуха рогоза можно проводить непосредственно в початках, либо после отделения его от стебля. Первоначально проведенные исследования сушки пуха в початках опубликованы в работе [3]. В ней показано, что при конвективной сушке початков до равновесного состояния, требуется ориентировочно восемь часов. Длительность процесса сушки можно объяснить плотной упаковкой пуха в початках. Чтобы это подтвердить, определяли среднюю плотность початка. Длина початка в среднем составляют 0,12 м, а диаметр – 0,025 м. Тогда средний объем одного початка будет равен  $5,887 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ . При средней массе початка 0,05 кг, средняя плотность, которая учитывает массу влаги, стебля и пуха, составит 849 кг/м<sup>3</sup>. При такой плотности початка, пух в нем должен быть плотно упакован. Отсюда следует, что расстояние между ворсинками пуха тоже очень мало. Для удаления влаги, которая расположена между ворсинками, требуется значительная движущая сила. Она должна преодолеть большое гидравлическое сопротивление, которое препятствует перемещению жидкости в пространстве между плотно расположенными ворсинками. При отделении пуха от стебля (распушивании початков) ворсинки расправляются, расстояние между ними увеличивается, объем пушинки становится значительно больше. В результате сопротивление выводу влаги из пушинок уменьшается, и время сушки сокращается. Учитывая эту особенность рогоза, дальнейшие исследования кинетики сушки проводили на пухе, который отделен от стебля.

### Материалы и методы

Основными параметрами, которые влияют на кинетику и время сушки любого дисперсного материала, являются: температура сушки, влажносте содержание сушильного агента и скорость его движения через слой материала, влажносте содержание материала в начале сушки, толщина его слоя. В отличие от твердых дисперсных материалов (зерно, силикагель), пух, при распушивании початков, существенно увеличивается в объеме, что сказывается на его кажущейся плотности. Отсюда следует, что на кинетику сушки, кроме основных параметров, будет также влиять плотность упаковки пуха в сушилке.

Одним из главных параметров сушки является температура проведения процесса. Чем она больше, тем с большей скоростью протекает процесс. Интенсивность сушки также зависит от скорости про-

хождения агента сушки через слой дисперсного материала. С увеличением скорости движения агента через слой время сушки уменьшается. Влияние этих параметров на время и интенсивность сушки пуха приведены авторами в работе [4].

Целью данной работы является определение условий длительного хранения пуха и влияние начального влажносте содержания пуха на кинетику сушки.

Для определения длительности хранения образцы пуха, высушенные до влажносте содержания 11 %, были помещены в матерчатые сетчатые мешки, и в подвешенном состоянии содержались в комнате при температуре 28–20 °C и относительной влажности 46–50 %. В течение года регулярно, раз в неделю, определяли влажносте содержание образцов пуха. За весь период наблюдений величина влажносте содержания пуха колебалась в пределах 11–12 %, а визуально наблюдаемое состояние пуха не изменялось (отсутствовали поражения плесенью, грибами, иными микроорганизмами). Можно сделать вывод, что для длительного хранения пуха рогоза, его необходимо сушить до влажносте содержания 11 %.

Влияние начального влажносте содержания пуха на кинетику сушки проводили при следующих постоянных параметрах: температура воздуха на входе в сушилку 100 °C; скорость воздуха в сушилке 0,44 м/с; плотность влажного пуха в начале сушки (начальная плотность) 130 кг/м<sup>3</sup>; высота слоя пуха в сушилке 180 мм. Начальное влажносте содержание пуха изменяли в пределах от 0,58 до 1,1 кг<sub>влаги</sub>/кг<sub>сух.матер.</sub>.

Для проведения исследований первоначально определяли влажносте содержание пуха перед началом опытов (начальное влажносте содержание)  $U_{ni}$ . С этой целью брали три образца пуха массой порядка 2 грамм. Измеряли их начальные массы  $m_{ni}$  с точностью до 0,01 г и сушили в сушильной камере. Периодически образцы вынимали из камеры, и взвешивали. Когда масса образцов не изменялась в течение трех последовательных измерений, принимали ее как массу сухого пуха  $m_{сухи}$ . За влажносте содержание сухого пуха принимали среднее арифметическое влажносте содержания трех образцов. Влажносте содержание каждого образца  $U_{ni}$  рассчитывали по формуле (1)

$$U_{ni} = \frac{m_{ni} - m_{сухи}}{m_{сухи}}, \quad (1)$$

где  $U_{ni}$  – начальное влажносте содержание пуха, кг<sub>влаги</sub>/кг<sub>сух.матер.</sub>;  $m_{ni}$  – начальная масса пуха, кг;  $m_{сухи}$  – масса сухого пуха, кг.

Исследования кинетики сушки проводили методом взвешивания по усовершенствованной методике замеров. Сущность методики заключается в том, что исследуемая навеска пуха вместе с сушилкой периодически взвешивали на весах с точностью 0,01 гр. Для этого использовали специальное разъемное устройство, которое позволяло быстро присоединять и отсоединять сушилку от трубопровода, подводящего сушильный агент. Разность между общей массой и массой сушилки позволяла получить массу навески пуха. В результате многократного взвешивания сушимой навески пуха в различные

промежутки времени сушки получали набор значений массы навески и соответствующего ей времени. Влажность пуха в определенное время сушки рассчитывали по формуле (2)

$$U_{\tau} = \frac{m_n - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}}, \quad (2)$$

где  $U_{\tau}$  – влажность пуха в промежуток времени  $\tau$ , кг влаги / кг сух. матер.;

$m_n$  – масса пуха в  $n$  – энный промежуток времени, кг;

$m_{\text{сух}}$  – масса сухого пуха, кг.

В результате получали данные изменение влажности пуха в зависимости от времени сушки, на основании которых строили графическую зависимость: влажность материала –

время сушки (кривая сушки). На основе кривой сушки, строилась кривая скорости сушки, а именно зависимость скорости сушки от влажности материала. Эти кривые позволяют определять:

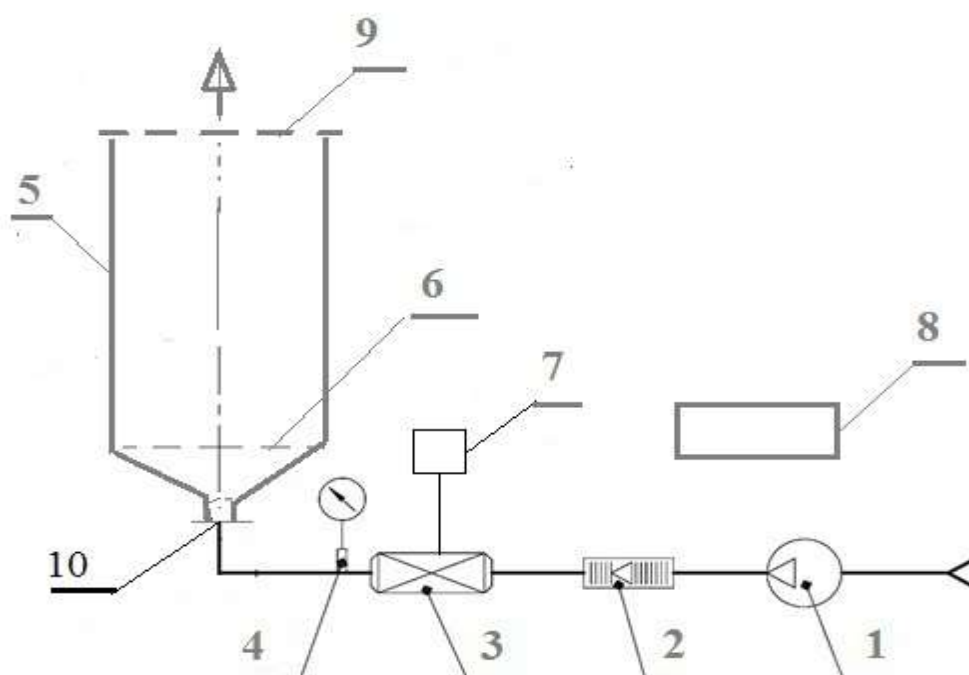
продолжительность сушки до равновесного состояния,

изменение скорости сушки на протяжении всего времени процесса,

величину максимальной скорости сушки.

Схема лабораторной установки для исследования кинетики сушки представлена на рис. 1.

В качестве сушильного агента использовался подогретый атмосферный воздух. С целью уменьшения потерь теплоты в окружающую среду, сушилку помещали в тепловую изоляцию.



1 – воздуходувка; 2 – прибор для измерения расхода воздуха (ротаметр); 3 – электрический калорифер; 4 – термометр; 5 – корпус сушилки; 6 – опорная решетка; 7 – лабораторный трансформатор; 8 – весы; 9 – крышка сушилки перфорированная; 10 – разъемное устройство.

Рисунок 1. – Схема лабораторной установки сушилки

Атмосферный воздух подавался воздуходувкой 1 через прибор для измерения расхода 2 в электрический калорифер 3, а затем через разъемное устройство в атмосферу. Температуру воздуха измерялась термометром 4, и регулировалась с помощью лабораторного трансформатора 7. После прогрева установки до необходимой температуры при постоянном расходе воздуха, предварительно взвешенная сушилка с пухом устанавливалась в разъемное устройство 10, и фиксировалось время начала сушки. Подогретый воздух проходил через слой пуха, насыщался влагой, и через отверстия в крышке 9, выходил в атмосферу. Через 3 минуты

сушилка отсоединялась от трубопровода, взвешивалась на весах 8, и снова устанавливалась на рабочее место. Время отсоединения, взвешивания и соединения сушилки с трубопроводом составляло 8–10 секунд. Последующие два взвешивания производились также через 3 минуты. Остальные временные интервалы между измерениями массы сушилки увеличивались в зависимости от начальных параметров сушки.

#### Результаты и их обсуждение

На рис. 2 представлены кривые сушки при различном начальном влагосодержания пуха.

Из рисунка следует, что с увеличением начального влагосодержания, время сушки пуха увеличивается. Ранее было установлено, что для длительного хранения пух необходимо сушить до равновесного влагосодержания  $0,11 \text{ кг}_{\text{влаги}} / \text{кг}_{\text{сух.матер.}}$ .

Используя кривые сушки, определялось время сушки при различном начальном влагосодержании. Графическая зависимость времени сушки пуха от начального влагосодержания представлена на рис. 3.

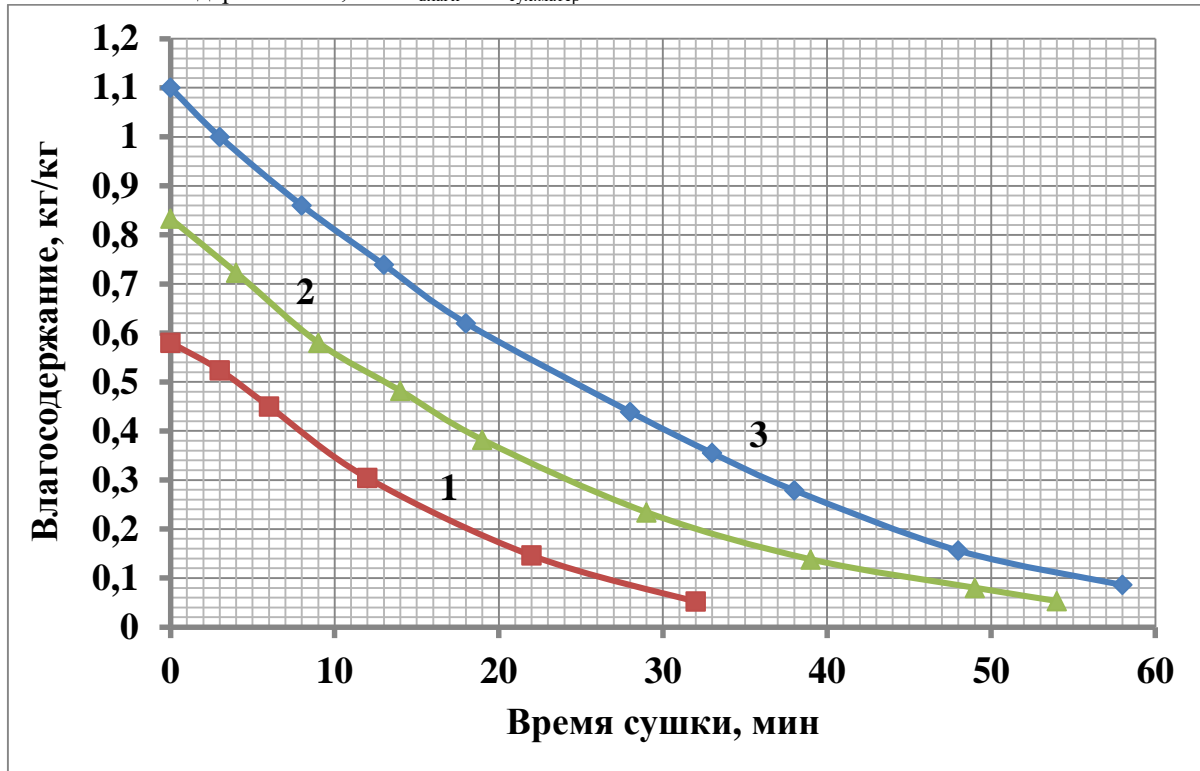


Рисунок 2. – Кривые сушки при различном начальном влагосодержании пуха розгоза,  $\text{кг}_{\text{влаги}}/\text{кг}_{\text{сух.матер.}}$ : 1 – 0,58; 2 – 0,833; 3 – 1,1

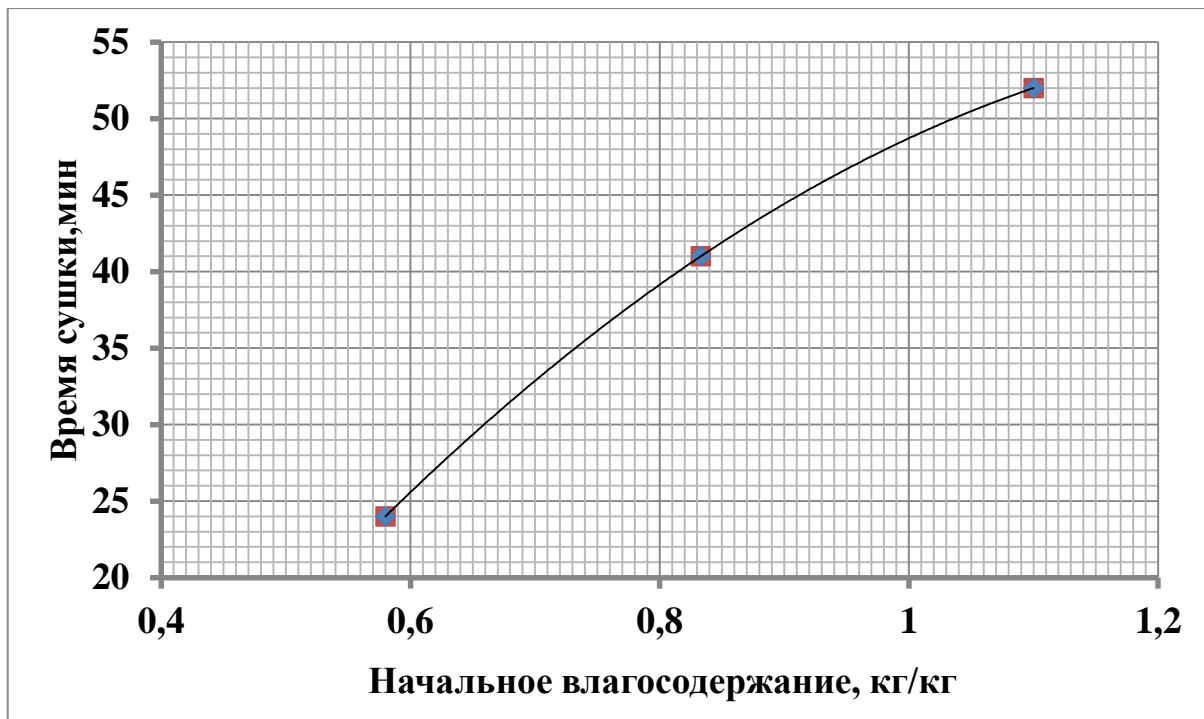


Рисунок 3. – Время сушки в зависимости от начального влагосодержания пуха

Расчеты показывают, что при увеличении начального влагосодержания в два раза, время сушки пуха увеличивается тоже в два раза. С целью практического применения этих данных, была получена зависимость для расчета времени сушки пуха до равновесного влагосодержания (3)

$$\tau = 137,83 U_n - 49,99 U_n^2 - 39,12, \quad (3)$$

где  $\tau$  – время сушки, мин;  $U_n$  – начальное влагосодержание пуха,  $\text{кг}_{\text{влаги}}/\text{кг}_{\text{сух.матер.}}$ .

Коэффициент детерминации зависимости (3),  $R^2=1$ .

На рис. 4 показано изменение скорости сушки при различном начальном влагосодержании пуха. Все кривые скорости сушки в течение 3–5 минут достигают своего максимального значения, после чего процесс протекает с постепенным снижением скорости сушки (второй период). При этом кривые обращены своей выпуклостью к оси ординат (скорости сушки), что характерно для физико-механической связи влаги с материалом [5].

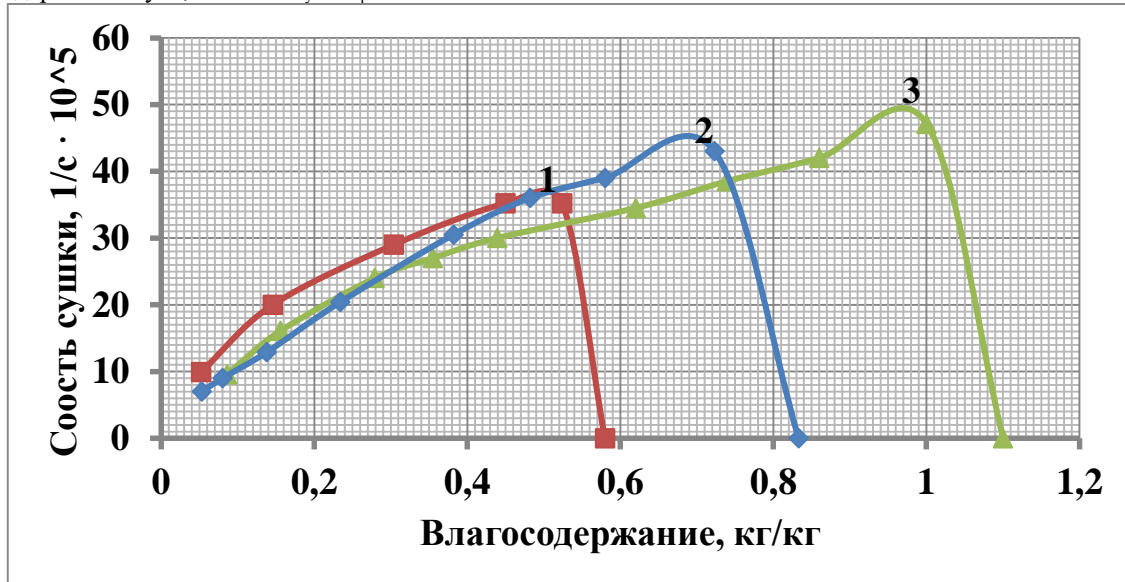


Рисунок 4. – Кривые скорости сушки при различном начальном влагосодержании пуха розога,  $\text{кг}_{\text{влаги}}/\text{кг}_{\text{сух.матер.}}$ : 1 – 0,58; 2 – 0,833; 3 – 1,1

На рис. 5 изображена зависимость максимальной скорости сушки от начального влагосодержания пуха. Из рисунка следует, что с увеличением

начального влагосодержания пуха максимальная скорость сушки увеличивается.

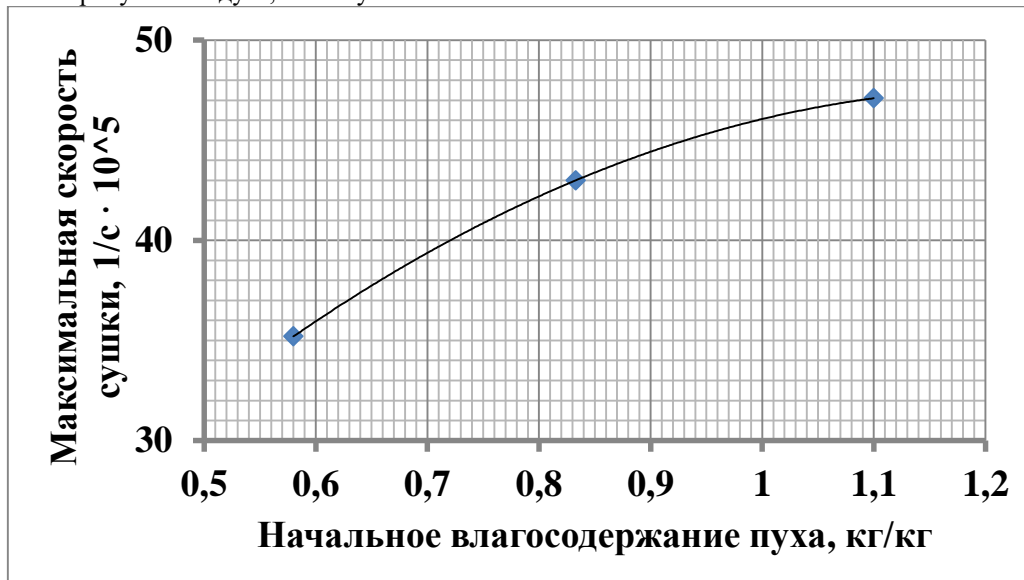


Рисунок 5. – Зависимость максимальной скорости сушки от начального влагосодержания пуха

В результате математической обработки этой зависимости получена эмпирическая формула для расчета максимальной скорости сушки (4)

$$N_{max} = (72,878 U_n - 29,758 \cdot U_n^2 + 2,941) \cdot 10^{-5}, \quad (4)$$

где  $N_{max}$  – максимальная скорость сушки, 1/с;  $U_n$  – начальное влагосодержание пуха,  $\text{кг}_{\text{влаги}}/\text{кг}_{\text{сух.матер.}}$ .

Коэффициент детерминации зависимости (4),  $R^2=1$ .

**Выводы**

1. Для обеспечения длительного хранения пуха рогоза, его влагосодержание не должно превышать 11 %.

2. При увеличении начального влагосодержания пуха рогоза в два раза, время сушки пуха увеличивается в два раза.

3. Сушка пуха осуществляется от максимальной скорости сушки до равновесного влагосодержания во втором периоде сушки.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Горовых О. Г.; Альжанов Б. А. Волоски околоцветника початков рогоза как природный сорбент нефти и нефтепродуктов. /О. Г. Горовых, Б. А. Альжанов // Международный научный журнал «Наука и Мир». № 4 (68), апрель. – Volgograd : 2019. – С. 51–53.

2. Рыкова Л. И., Черняева М. И. Основы микробиологического контроля консервного производства. / Л. И. Рыкова, М. И. Черняева. – М. : Пищевая промышленность, 1967. – 404 с.

3. Протасов С.К., Боровик А.А., Брайкова А.М. Исследование процессов сушки пуха рогоза. / С.К. Протасов, А.А. Боровик, А.М. Брайкова // Мичуринский агрономический вестник. 2021. №1. – С. 87–96.

4. Протасов С.К., Боровик А.А., Горовых О.Г., Альжанов Б.А. Технология сушки отделенных от стебля волосков околоцветника початков рогоза – высокоэффективного нефтесорбента / С.К. Протасов, А.А. Боровик, О.Г. Горовых, Б.А. Альжанов // Slovak international scientific journal. 2021, № 52. – С.24–30.

5. Лыков А.В. Теория сушки. /А.В. Лыков – М. : Энергия, 1968. – 472 с.