

## РАСЧЕТ ВЛАЖНОСТНО-ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ТКАЦКОГО СТАНКА С ЗАМКНУТЫМ РАБОЧИМ ПРОСТРАНСТВОМ

Степанов В.В., Тувин А.А., Степанов В.В.

*ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», Иваново, Россия (153000, Иваново, пр. Шереметевский, 21), e-mail: tuvin@ivgpu.com*

Проведен анализ современного состояния текстильных фабрик в современных условиях. Тенденции развития текстильного оборудования предусматривают замену больших по площади и объему производственных помещений на малые предприятия с применением современного оборудования, оснащенные электронными системами энергосбережения на основе нанотехнологий. Одним из путей развития малых предприятий в данном направлении является разработка оборудования, которому не требуется практически помещений. Предложена принципиально новая модель ткацкого станка, особенностью которого является оснащение станка прозрачным колпаком – капсулой, состоящей из отдельных раскрывающихся частей и приводящихся, в случае необходимости, специальными механизмами. Проведен расчет потребления технологической влаги и тепла для ткацкого станка с замкнутым рабочим пространством, отделенным от зоны расположения обслуживающего персонала. Показано, что такие ткацкие станки расходуют в 3 раза меньше тепла по сравнению с традиционными, а также улучшаются климатические условия для обслуживающего персонала.

Ключевые слова: ткацкий станок, влага, тепло, замкнутое рабочее пространство, климатические условия.

## CALCULATION OF HUMIDITY AND THERMAL PARAMETERS OF THE LOOM WITH CLOSED WORKING SPACE

Stepanov V.V., Tuvin A.A., Stepanov V.V.

*Ivanovo state polytechnical university, Ivanovo, Russia (153000, Ivanovo, Sheremetevsky Ave., 21), e-mail: tuvin@ivgpu.com*

The analysis of the current status of the textile mills in modern conditions was done. Development trends of textile machinery involves the replacement of large area and volume of industrial premises for small businesses with the use of modern equipment with electronic energy saving systems based on nanotechnology. One of the ways of development of small enterprises in this direction is the development of equipment that does not require virtually premises. Proposed a fundamentally new model of a loom, a feature which is equipping the machine with a transparent cap – capsule, consisting of a separate drop-down parts and set, if necessary, special arrangements. Calculation of consumption of a technological moisture and heat for a loom with the closed working space separated from a zone of an arrangement of attendants is carried out. It is shown that such looms spend in 3 times of less heat in comparison with traditional, and also nvironmental conditions for attendants improve.

Keywords: loom, moisture, heat, the closed working space, environmental conditions.

Стабильность технологического процесса производства текстильного продукта, связанная с уровнем обрывности нитей в прядильном и ткацком производствах, во многом зависит от параметров воздуха внутри производственных помещений. Они оказывают огромное влияние на прочностные характеристики текстильного продукта, на производительность оборудования, на самочувствие работающего персонала [8].

Для поддержания температурно-влажностного режима на предприятиях текстильной промышленности тратится огромная энергия электрическая, паровая, пневматическая и гидравлическая.

Тенденции развития текстильного оборудования предусматривают замену больших по площади и объему производственных помещений на малые предприятия с применением современного оборудования, оснащенные электронными системами энергосбережения на

основе нанотехнологий. Одним из путей развития малых предприятий в данном направлении является разработка оборудования, которому не требуется практически помещений.

Известно, что на текстильных фабриках, выпускающих ткани на основе хлопкового волокна, ткацкие станки для снижения обрывности нитей устанавливаются в цеховом помещении, оснащенном системой охлаждения и нагрева воздуха, его доувлажнения и пухоудаления. Данная конструкция состоит из одного, или нескольких кондиционеров, присоединенных к заборным и раздаточным воздухопроводам, щели которых расположены на различных уровнях цехового пространства [2].

Недостатком комплектования ткацких станков вышеописанными общецеховыми системами являются большие затраты на тепловую энергию, электроэнергию и водоснабжение, поскольку данные системы должны обеспечивать заданные параметры для всего помещения цеха, даже если часть оборудования не работает. Кроме того, общецеховые системы не обеспечивают постоянство требуемых параметров в различных участках цеха и каждого станка в отдельности. К недостаткам такой комплектации относится также и создание неблагоприятной среды, влияющей на здоровье обслуживающего персонала, из-за повышенной влажности и температуры окружающего воздуха, его запыленности и повышенного уровня шума.

Устранение этих недостатков может происходить, например, двумя путями – модернизацией основных исполнительных механизмов существующего ткацкого оборудования и созданием новых типов ткацких станков. Некоторые из вариантов модернизации существующего ткацкого оборудования рассмотрены в работах [3, 4]. В данной статье рассмотрен второй путь – создание новых типов ткацких станков. Для этого нами разработана принципиально новая модель ткацкого станка, особенностью которого является оснащение станка прозрачным колпаком – капсулой, состоящей из отдельных раскрывающихся частей и приводящихся, в случае необходимости, специальными механизмами [6]. Внутри этой капсулы необходимый температурно-влажностный режим устанавливается системой микроклимата. Данная система с помощью обратных датчиков, расположенных в рабочей зоне станка, позволяет установить требуемые технологические параметры в энергосберегающем режиме. Учитывая, что общецеховое пространство в несколько раз превышает рабочую зону станка, то естественно можно ожидать существенную экономию энергии, затрачиваемую для осуществления технологического процесса.

Для воплощения данной модели станка в производство необходимо провести теоретические и инженерные разработки систем регулирования отдельных параметров технологического процесса в замкнутом пространстве ткацкого станка. Для каждого типа ткацкого станка необходимо проводить свой расчет экономии того или иного вида энергии.

Проведем сравнительный расчет необходимых условий кондиционирования воздуха для одного ткацкого станка. Расчет будем вести исходя из двух условий:

1. Температура окружающего воздуха равна 18 °С и относительная влажность  $\varphi_1 = 50 \%$ , что соответствует оптимальным условиям для обслуживающего персонала.
2. Температура внутри кожуха должна быть равна 28 °С с относительной влажностью  $\varphi_2 = 80 \%$ , наиболее соответствующей для большинства ассортимента выпускаемой ткани.

Влагосодержание для каждого из вариантов определяется по выражению:

$$d = 623 p_n / (p_b - \varphi * p_n), \quad (1)$$

где  $p_n$  – парциальное давление насыщенного пара при заданной температуре;

$p_b$  – барометрическое давление влажного воздуха;

$\varphi$  – коэффициент относительной влажности воздуха.

По данным [7], при  $t_1 = 18^\circ\text{C}$  -  $p_{n1} = 15,48$  мм р.с;

при  $t_2 = 28^\circ\text{C}$  -  $p_{n2} = 28,35$  мм р.с;

$p_b$  – принимаем среднее значение 745 мм р.с

Тогда влагосодержание для обоих вариантов по выражению 1 будет:

$$d_1 = 6,529 \text{ г/кг}_{\text{св}} \quad \text{и} \quad d_2 = 19,53 \text{ г/кг}_{\text{св}}.$$

Энтальпия рассчитывается по формуле [1]:

$$i = 1,005t + (2500 + 1,84t)d/1000.$$

В нашем случае  $i_1 = 34,63$  кДж/ кг<sub>св</sub> и  $i_2 = 77,97$  кДж/ кг<sub>св</sub>.

Общее количество тепловой энергии, необходимой для доведения параметров среды рабочего пространства станка, будет равно:

$$Q_p = V_k * \rho * (i_2 - i_1), \quad (2)$$

где  $V_k$  – объем воздуха в защитном кожухе,

$\rho$  – плотность паровоздушной смеси при заданной температуре

Дополнительное тепло выделяется двигателем станка согласно [1]:

$$Q_{эд} = N K_1 K_2 K_3 K_4, \quad (3)$$

где  $N$  – мощность электродвигателя установленного на станке;

$K_1 = 0,84$  – коэффициент использования установочной мощности двигателя для ткацкого цеха [2];

$K_2 = 0,5-0,8$  – коэффициент загрузки;

$K_3 = 1$  – коэффициент одновременности работы электродвигателей;

$K_4$  – коэффициент перехода тепла в помещение, который для текстильных предприятий принимается равным единице.

Через кожух в среду окружающего воздуха будет уходить тепло

$$Q_{пот} = (t_b - t_n) \Sigma (F_i / R_{oi}), \quad (4)$$

где  $R_{oi}$  – общее термическое сопротивление каждого из участков кожуха;

$F_i$  – площадь участков кожуха;

$t_v$  – температура воздуха внутри кожуха;

$t_n$  – температура воздуха в ткацком цехе.

Общее термическое сопротивление участка кожуха состоит из составляющих:

$$R_o = R_v + R + R_n ,$$

$$R_v = 1/\alpha_v ; \quad R = \delta/\lambda; \quad R_n = 1/\alpha_n ,$$

где  $R_v$  – термическое сопротивление тепловосприятию;

$R$  – термическое сопротивление толщии данной стенки кожуха;

$R_n$  – термическое сопротивление теплоотдачи;

$\alpha_v$  = коэффициент тепловосприятия;

$\alpha_n$  = коэффициент теплоотдачи;

$\delta$  – толщина стенки;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности.

Вышеописанная методика позволяет рассчитать затраты тепловой энергии для ткацких станков, заключенных в замкнутый кожух.

Для сравнения рассчитаем величину тепловых затрат в традиционных ткацких цехах на площади, занимаемой ткацким станком:

$$Q_{тр} = F_{пр} * h * \rho * (i_2 - i_1), \quad (5)$$

где  $F_{пр}$  – проектная площадь, занимаемая станком с учетом норм обслуживания и транспортных проходов;

$h$  – высота помещения.

Введем коэффициент снижения тепловых затрат:

$$K_{тз} = Q_{тр} / (Q_p + Q_{пот}). \quad (6)$$

Проектная площадь, занимаемая единицей оборудования в ткацком цехе, не должна превышать значения:

$$F_{пр} = A/k,$$

где  $A$  – площадь ткацкого станка;

$k = 0,4$  – коэффициент использования производственной площади.

С учетом выражений (2), (4) и (7) получим

$$K_{тз} = A * h / (k(V_k - F * (t_2 - t_1)) / (R_o * \rho * (i_2 - i_1))). \quad (7)$$

Кроме нагрева воздуха, необходимо поднять его влажность до 80 %. Общее количество влаги, необходимое для увлажнения воздуха до требуемых параметров, составит

$$M_v = V_k * \rho_n * (\varphi_2 - \varphi_1) ;$$

или

$$M_v = V_k * \rho_n * (\varphi_2 - \varphi_1) / (R_n * T), \quad (8)$$

где  $\rho_n$  – концентрация насыщенного пара;

$R_n = 460$  Дж/кг К – удельная газовая постоянная водяного пара;

$T$  – абсолютная температура, К.

Увеличить влажность можно различными методами: естественным, традиционным, паровым или ультразвуковым.

При естественном способе вода наливается в емкость, или поддон и со свободной поверхности воды происходит ее испарение.

Количество испаренной влаги определяется по формуле [5]:

$$M_B = F_{зв} (0.038 + 0.031w) * \rho_n (1-\varphi), \quad (9)$$

где  $F_{зв}$  – площадь испарения с зеркала воды;

$w$  – вертикальная составляющая скорости обтекания поверхности воды;

$\varphi$  – относительная влажность окружающего воздуха.

По заданному расходу влаги можно рассчитать площадь испарения:

$$F_{зв} = V_k * (\varphi_2 - \varphi_1) / [R_n * T * (1 - \varphi_1) * (0,038 + 0,031w)]. \quad (10)$$

В традиционных увлажнителях воду заливают в бачки, из них она подается в поддон. В поддонах вода попадает на специальные испарительные элементы, а встроенный вентилятор прогоняет через них воздух и увлажняет его естественным путем. Простейшие увлажнители работают на сменных бумажных кассетах с антибактериальной пропиткой. Вода пропитывает бумагу, поднимаясь снизу вверх, как по капиллярам. В более дорогих установках испаритель имеет пластиковые диски с адсорбирующей поверхностью, которые, вращаясь, как мельница, собирают на себя капли влаги из поддона. «Холодное» испарение – процесс саморегулирующийся: относительная влажность может достигнуть при этом только определенного значения для данной температуры. При высоких температурах интенсивность испарения возрастает.

В основе работы паровых увлажнителей лежит кипячение. Воду испаряют два погруженных в нее электрода. Пока они находятся в жидкости, в электрической цепи течет ток, а, следовательно, происходит нагрев и испарение. Эксплуатация безопасна: электрический ток течет только при наличии жидкости. При полном выкипании воды цепь размыкается, и прибор автоматически отключается.

В ультразвуковых увлажнителях использован физический эффект, при котором вода из бачка подается на вибрирующую с высокой частотой пластину, где расщепляется в мельчайшие брызги. Микроскопические капли фонтанируют над пластиной и образуют облако, сквозь которое вентилятор прогоняет наружный воздух. Выпускаемые пары только на вид кажутся горячими, на поверку они холодные и влажные, а также абсолютно безопасные для здоровья. Ионообменная смола в специальном картридже умягчает жесткую воду.

По разработанной методике были рассчитаны параметры рабочего пространства для станка АТПР-100 – наиболее распространенного в текстильной промышленности.

Согласно технического паспорта, на станке АТПР-100-4 установлен электродвигатель мощностью 2,2 кВт, а также компрессор, мощность которого должна обеспечивать расход воздуха не менее 15 м<sup>3</sup>/час. Габаритные размеры этого станка составляют 2760\*1480\*1210мм. С точки зрения размещения оборудования на минимальной производственной площади, желательно защитный кожух выполнить тех же размеров, что и станок, но, учитывая, что на предварительном этапе необходимо сделать зазор между кожухом и станком, примем вариант устройства защитного колпака, состоящего из рамной конструкции кожуха, облицованного пленочным покрытием с размерами 2800\*1600\*1300мм. Объем кожуха составит при этом 5,8 м<sup>3</sup>, а площадь кожуха  $F_k = 11,4 \text{ м}^2$ .

Предположив, что весь объем материалов ткацкого станка составляет четвертую часть этого пространства, в расчетах свободного воздушного пространства в кожухе будем считать объем  $V_k = 4,35 \text{ м}^3$ . С учетом минимально необходимой мощности компрессора станка АТПР-100, данный объем воздуха будет обращаться 3,5 раза за час. Остальные значения физических величин и коэффициентов по данным [1, 2, 5, 7] принимались следующие:

$\rho=1,205\text{г/кг}$ ;  $t_1 = t_n$ ;  $t_2 = t_b$ ;  $\delta=0,2\text{мм}$ ;  $\lambda=0,4 \text{ Вт/(м*К)}$ ;  $\alpha_b = \alpha_n = 8,15 \text{ Вт/(м}^2\text{*К)}$ ;  $h \text{ 4м}$ .

Результаты расчетов показали, что разделение общецехового пространства с помощью дополнительного кожуха на рабочую зону с параметрами по варианту 2 и на зону обслуживания с параметрами по варианту 1 дает 3-х кратную экономию тепловой энергии применительно к одному станку. Было рассчитано также, что доведения среды внутри кожуха от варианта 1 к варианту 2 – потребуется дополнительно около 700 Вт тепловой энергии, а выделения от работы электродвигателя составляют 1200 Вт. Следовательно, закрывать станок кожухом с предварительно выбранными габаритами нельзя из-за возможного перегрева электродвигателя. Необходимо либо увеличить габариты кожуха и пересчитать тепловые затраты, либо закрывать станок не полностью, а только рабочую зону от ткацкого навоя до товарного валика. В этом случае испарение воды со свободной поверхности и традиционными испарителями не совсем подходят, так как стабильность процесса испарения во многом будет зависеть от воздушных потоков обтекания поверхности воды. Не может быть использован и метод парового испарения, так как он только увеличивает выделения тепловой энергии. По результатам расчетов можно рекомендовать для станков типа АТПР увлажнители ультразвукового типа, для которых должны быть разработаны регуляторы влажности воздуха в рабочем пространстве станка.

#### **Выводы:**

1. Разработана методика расчета влажностно-тепловых параметров ткацкого станка с замкнутым рабочим пространством.

2. Внедрение защитных кожухов к станкам типа АТПР позволит сократить тепловые затраты не менее, чем в 3 раза.
3. Для уточнения выбранной методики и определения конструкций защитных кожухов необходимо провести экспериментальные исследования.

### Список литературы

1. Белоусов В.В. Отопление и вентиляция, часть 1. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1967.
2. Вентиляция, отопление и кондиционирование воздуха на текстильных предприятиях / под ред. В.Н.Талиева. – М.: Легпромбытиздат, 1985.
3. Гречин В.А., Тувин А.А. Разработка и исследование конструкций боевого механизма челночного ткацкого станка для выработки технических тканей // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4; URL: [www.science-education.ru / 118-14144](http://www.science-education.ru/118-14144).
4. Гречин, В.А. Оптимизация затрат энергии боевым механизмом челночного ткацкого станка для выработки тканей специального назначения / В.А. Гречин, А.А. Тувин, А.В. Гущин // Фундаментальные исследования. – 2013. – N 8. – С. 818-821.
5. Ладыженский Р.М. Кондиционирование воздуха. – М.: Госторгиздат, 1962.
6. Патент РФ № 2274688 РФ, МПК D03J 1/00 (2006.01).
7. Сапожников С.З., Китанин Э.Л. Техническая термодинамика и теплопередача: учебник для вузов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999.
8. Тувин, А.А. Совершенствование системы контроля технологических процессов текстильного производства /А.А. Тувин, С.В. Павлов, С.П. Зимин, Б.Н. Гусев // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004. – № 5. – С. 36-39.

### Рецензенты:

Блиничев В.Н., д.т.н., проф., зав. кафедрой машин и аппаратов химического производства, ИГХТУ, г. Иваново;

Ясинский Н.Ф., д.физ.-мат.н., профессор кафедры высокопроизводительных вычислительных систем, ИГЭУ, г. Иваново.