

handicapped people artificial limbs, and as a partner to: fire fighters for rescuing, workers for manufacturing, doctors for surgery, and as a research platform. Having a solution where several manipulators are involved requires coordination between them. To prevent collision with each other and the surrounding objects, Ellipsoid Intersection Location algorithm was used. Our experiments showed that coordinating between the two arms based on the Ellipse Normal Inclination method offers a more generic, speedy, and precise solution for a wide range of robotic applications. Hands control and balancing the mechanism will be handled in future papers. This paper explores the human behavior and intelligence for solving problems and handling sophisticated tasks to reach algorithms which are used by the human brain for control and making decisions, and to mathematically model definite problems and simulate the required algorithms for solving those tasks. The results showed 25 % speed increase and 17.5 % accuracy increase than other known methods in achieving a complex task which can be generalized to be used in a lot of applications which requires precision and working in real time.

References

1. *Al Akkad M. A.* Robotics as an Efficient Tool in Education // Proceedings of 4th International Conference. – ISTU, 2010.
2. *Ibrahim I. N., Al Akkad M. A.* Inverse Kinematics Solution Improvement Using a Neural Fuzzy Logic Model // ISTU Vestnik. – 2014.
3. *Pires N.* Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. – Springer, 2007.
4. *Hamdan B., Kawatli A.* Exploiting two ambidextrous Robotic arms for achieving cooperative tasks : dissertation / supervisor: M. A. Al Akkad. – Computer Engineering and Automation Dept., FMEE, Damascus University, 2010.
5. *Craig J.* Introduction to Robotics Mechanics and Control. – 3rd edition. – Prentice Hall, 2005.
6. *LaValle S.* Planning Algorithms. – Cambridge University Press, 2006.
7. *Skaif T., Al Akkad M. A.* Designing an ad hoc protocol for multi-agent systems : Master thesis / supervisor: M. A. Al Akkad. – Computer Engineering and Automation Dept., FMEE, Damascus University, 2011.
8. *Al Akkad M. A.* Delicate Control versus Robust Control. // ISTU Vestnik, 2013.

М. Айман Аль Аккад, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Эксплуатация конечностей двурукого амбидекстрального робота для решения задач, требующих совместной кооперации

В статье рассматриваются аспекты проектирования двух амбидекстральных роботизированных манипуляторов для решения задач, требующих совместной кооперации. Цель проектирования – создание схожего с человеческим амбидекстрального поведения гибких конечностей робота, который может стать настоящим партнером человека для выполнения различных видов работ в области медицины и промышленности. Представлено описание кинематики конструкции, предложена новая переключающаяся система двойного назначения для управления манипуляторами, а также эффективный метод планирования движения. Использован новый эффективный алгоритм предотвращения столкновений. Представлены результаты эксперимента для задачи сборки и разборки матрешки, в дальнейшем реализация может быть перенесена на другие сложные приложения.

Ключевые слова: многоагентные системы, точное управления, манипуляторы, обратная кинематика, предотвращение столкновений.

Получено 03.09.2014

УДК 658.512.88

М. А. Разживина, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
Б. А. Якимович, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

А. И. Коршунов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

КОНЦЕПЦИЯ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА – ОСОБЫЙ «ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД»

Рассматриваются вопросы организации производства на основе принципов концепции бережливого производства корпорации Toyota. Приведены основные понятия, определения и шаги организации бережливого производства. Рассмотрены ключевые проблемы сложности внедрения концепции на российских предприятиях и возможности их преодоления.

Ключевые слова: концепция бережливого производства, поток создания ценности, потери производства, принцип «вытягивания», повышение эффективности, муда.

В настоящее время бережливое производство является одной из самых востребованных тем в среде российского производственного менеджмента. В связи с этим представляется целесо-

образным рассмотреть основные понятия данной концепции для достижения ясности в понимании предмета обсуждения.

Основателем концепции бережливого производства считается Тайити Оно [1], создававший организационные основы производственной системы корпорации Тойота в 1950-е годы. Он объединил все передовые методы повышения эффективности производства в стенах предприятия Тойота. Будучи убежденным борцом с потерями, он установил семь типов скрытых потерь [2]: потери перепроизводства; потери из-за дефектов и необходимости переделки; потери при передвижении; потери при транспортировке; потери от излишних запасов; потери от излишней обработки; потери времени на ожидание. Позднее к ним добавили еще один вид: нереализованный творческий потенциал сотрудников.

В концепции бережливого производства муда – это ошибки, которые необходимо исправлять. Это производство изделий, которые никому не нужны. Это выполнение действий, без которых вполне можно обойтись [3]. Также существуют еще два источника потерь – мури и мура, которые означают, соответственно, нагрузку, в значительной степени превышающую возможности человека или оборудования, и неравномерность ее распределения. Мури заставляет машину или человека работать на пределе возможностей. Перегрузка людей угрожает их безопасности и вызывает проблемы с качеством. Перегрузка оборудования ведет к авариям и дефектам. Мура является следствием первых двух факторов. Причина неравномерности – неправильно составленный график или колебание объемов производства, вызванное внутренними проблемами, например, простоями, отсутствием деталей или дефектами [4]. Избавиться от мури и мура можно, в частности, применяя принцип выравнивания: выравнивая объем производства продукции и ее номенклатуру, а также выравнивая нагрузку на людей, оборудование и поставщиков.

Результаты применения концепции Тайити Оно были потрясающими, и в 1980-е годы система корпорации Toyota получила известность. Система была изучена американскими специалистами и концептуализирована под наименованием lean production [5].

Бережливое производство подразумевает вовлечение в процесс оптимизации производства каждого сотрудника, а также максимальную ориентацию на потребителя. Отправной точкой концепции является оценка ценности продукта для конечного потребителя на каждом этапе его создания. В качестве основной ставится задача создания процесса непрерывного устранения потерь, представляющая из себя устранение любых действий, которые потребляют ресурсы, но не создают ценности для конечного потребителя. Известные исследователи в области бережливости Д. Вумек и Д. Джонс излагают суть бережливого производства как процесс, который включает пять этапов [3]:

1. Определение ценности конкретного продукта.
2. Определение потока создания ценности для этого продукта.
3. Обеспечение непрерывного течения потока создания ценности продукта.

4. Создание условий для «вытягивания» продукта потребителем.

5. Стремление к совершенству.

Таким образом, бережливое производство заключается в устранении действий, которые отнимают время, но не создают ценности, и в формировании условий, при которых оставшиеся действия, создающие ценность, выстраиваются в непрерывный поток, движение которого регламентируется принципом «вытягивания», который заключается в том, что никто выше по потоку создания ценности не должен ничего делать до тех пор, пока потребитель, расположенный ниже по течению, этого не потребует.

Основными тезисами философии бережливого производства являются [2]: систематическое выявление и устранение потерь, настройка производственных процессов в зависимости от потребности клиента, идея непрерывного улучшения, мотивация всех сотрудников предприятия и идея самообучающейся организации, принятие управленческих решений с учетом долгосрочной перспективы, стандартизация задач, процессов.

Отправной и самой важной точкой в организации бережливого производства, согласно Д. Вумек и Д. Джонсу, является определение ценности для конкретного продукта, имеющего утвержденные характеристики и фиксированную цену [3]. Это достигается путем диалога с потребителями без оглядки на существующие активы и технологии компании. Очень важно при определении ценности смотреть на продукт в целом, а не на отдельные этапы или стадии его создания [6]. Бережливое производство должно выходить за пределы фирмы и охватывать весь комплекс действий, в результате которых создается продукт. Как правило, в процессе создания продукта участвует не одна организация, и у каждой организации свое видение ценности. Для того чтобы понимание ценности совпадало, производители должны научиться разговаривать с потребителями. Новый способ общения должны выработать все фирмы, участвующие в потоке создания ценности. После того как первичное понимание ценности достигнуто, организация должна периодически возвращаться к вопросу о ценности и проверять, можно ли еще больше улучшить свое осознание данного показателя [3].

Следующим шагом реализации концепции бережливого производства является формирование потока создания ценности, который включает совокупность всех действий, совершаемых для того, чтобы определенный продукт прошел через три важных этапа менеджмента [1]: решение проблемы, управление информационными потоками, физическое преобразование. Определение всего потока создания ценности для каждого продукта дает общее представление о величине ошибок, показывает, насколько огромна величина потерь. Все действия, которые составляют поток создания ценности, почти всегда можно разделить на три категории: 1) действия, создающие ценность, – это те действия, которые приводят к важному для потребителя результату и за которые потребитель готов платить; 2) действия, не соз-

дающие ценность, но неизбежные в силу ряда причин, например, проверка качества, тестирование продукта и пр.; их еще называют потерями первого уровня, о них все знают, их все видят, но избавиться от них невозможно; 3) действия, не создающие ценность или потери второго уровня, их необходимо сразу исключать из процесса.

С точки зрения философии бережливого производства при традиционном подходе к организации работы компании, предусматривающем производство партиями и очередями, создаются огромные запасы незавершенного производства. В первую очередь их производит самое быстродействующее оборудование. Результатом является перепроизводство – основной вид потерь, которое ведет к скоплению запасов [4]. Поток единичных изделий, напротив, предполагает, что вы последовательно выстраиваете все технологические операции в единую линию, которая позволяет выполнить заказ потребителя в кратчайшие сроки. Идеальный размер партии при бережливом подходе всегда состоит из одного изделия. Может сложиться впечатление, что ускорение изготовления изделия ведет к ухудшению его качества. Но выстраивание потока ведет к совершенно противоположному результату, как правило, качество повышается. Он значительно упрощает встраивание качества, придает гибкость процессам производства, повышает производительность и безопасность, способствует высвобождению площадей в цехе, ведет к сокращению запасов [3]. Создание потока ценности строится на непрерывном диалоге всех участников процесса по поводу того, каким образом сформировать такой канал, который бы позволял исключить все потери.

При создании карты текущего и будущего состояния процесса и плана мероприятий по внедрению известный исследователь концепции Toyota Джеффри Лайкер рекомендует использовать межфункциональную группу [2], состоящую из руководителей, которые распоряжаются ресурсами и кадрами, и исполнителей, являющихся составной частью представленного на карте процесса. Члены такой группы совместно анализируют потери при текущем состоянии и размышляют, как, применяя инструменты и философию бережливого производства, перейти к намеченному состоянию. Составление карт потока создания ценности следует использовать применительно к конкретному семейству продуктов, намереваясь немедленно приступить к преобразованию процесса. Поток представляет собой идеал, к которому надо стремиться. Когда ценность определена и сформирован поток создания ценности, требуется сосредоточиться на конкретном реальном объекте. Для этого необходимо игнорировать все традиционные ограничения и представления о работе, карьере, функциях и самих организациях; переосмыслить все методы работы, типы применяемого оборудования и инструментов с тем, чтобы ничто не мешало непрерывному течению потока проектирования, оформления заказа и производства – без остановок и подводных камней [7]. Подход, который

отстаивает бережливое производство, заключается в том, что необходимо переходить от производства партиями к потоковому производству, которое, по разным оценкам, позволяет сокращать время разработки примерно вдвое, а затраты труда – более чем в два раза. При этом обеспечивается большая вероятность для проекта удовлетворить требования потребителя. Для достижения бережливости надо сфокусироваться на управлении потоком создания ценности, ликвидировать организационные барьеры, в нужной последовательности расставить «правильное» оборудование [8], внедрить методы бережливого производства и обеспечить непрерывное течение потока. Когда менеджеры научатся видеть весь поток, они смогут применить универсальные принципы бережливого производства абсолютно к любой деятельности [1].

В создании потока нет ничего сложного, каждая организация может трансформировать свою деятельность в поток. Но она должна быть уверена в том, что создает нужные потребителю товары и услуги. На данном этапе применяется принцип «вытягивания». Его применение позволяет экономить ресурсы, поскольку оно избавляет от наиболее серьезных видов потерь: перепроизводства и излишних запасов, а также способствует стабилизации потребительского спроса, поскольку потребители знают, что могут получить нужный товар немедленно, а производители перестают устраивать периодические распродажи для того, чтобы избавиться от никому не нужных товаров [3]. Новая производственная доктрина организации в этом случае может звучать так: «Не делай ничего, пока этого не требуется, когда же потребуется, делай очень быстро». Реализация данного принципа позволяет достичь значительной экономии, так как он избавляет от наиболее страшных видов потерь – перепроизводства и излишних запасов.

Тем не менее, согласно Д. Вумеку и Д. Джонсу, многое из потенциала бережливого производства будет потеряно, если игнорировать последний принцип – совершенство. Независимо от того, сколько раз предприятие улучшает свои процессы, делая их все более и более бережливыми, постоянно находятся все новые пути для ликвидации потерь. Существуют два подхода достижения совершенства: пошаговый и радикальный. Каждой фирме для процветания необходимо знать и применять оба подхода. Для эффективного осуществления пошагового и радикального улучшения необходимо, чтобы в сознании менеджеров возникло видение совершенства, которое достигается путем следования четырем принципам бережливого производства: определение ценности, определение потока создания ценности, организация движения потока и создание системы вытягивания. Затем с помощью метода развертывания политики хосинканри [4] определяется, с каким видом потерь необходимо бороться в первую очередь, и применение каких товаров и производственных технологий будет способствовать реализации следующего шага на пути к совершенству [7].

Для внедрения принципов бережливого производства в организации простого понимания его принципов еще недостаточно. Большинство компаний уделяли слишком много внимания таким инструментам, как 5S и системе «точно вовремя», не воспринимая бережливое производство как единую систему, как дух, которым пропитана культура организации. В большинстве компаний, пытавшихся внедрить бережливое производство, высший менеджмент не принимал участия в повседневной работе и непрерывном совершенствовании, которые являются неотъемлемой частью этой производственной системы [1].

Более чем десятилетняя практика применения принципов бережливого производства в России показала, что данный подход, несмотря на всю его открытость и доступность, достаточно сложно внедрить в работу какого-либо предприятия на постоянной основе. Среди ключевых проблем выделяют слабую стабильность руководства многих компаний, что приводит к несоблюдению одного из принципов концепции Toyota, связанной с преемственностью поколений и воспитанием лидеров. Работая по контракту руководители предприятий, начиная проекты по повышению операционной эффективности, не успевают получать быстрые результаты, покидают свои руководящие посты. Любая смена лидера компании обязательно приводит к изменению стратегии развития и очень часто сводит на нет все достижения в области реализации концепции бережливого производства. Многие эксперты отмечают, что объяснить слушателям, как работают отдельные инструменты данного подхода не сложно, гораздо сложнее добиться того, чтобы их применение стало неотъемлемой частью их повседневной работы [9]. Между тем практически все исследователи в своих трудах приходят к тому, что концепция бережливого производства выходит за рамки совокупности практических систем и инструментов. Это целая философия, особый «генетический код», который нельзя просто передать на семинаре или приобрести в процессе прочтения большого количества книг, а нужно прививать особым образом. Сам Фудзиро Те, президент Toyota Motor Company, говорил, что секрет Toyota, который выгодно отличает ее от других компаний, не в отдельных приемах или методах. Самое важное, что все они в совокупности работают как единая система, которую нужно практиковать изо дня в день упорно и последовательно, без авралов и спешки [2].

Согласно мнению Джеффри Лайкера [4], не инструменты и технологии являются секретным оружием, которое может совершить переворот в бизнесе. Неизменный успех Toyota при применении этих средств проистекает из философии бизнеса, в основе которой лежит понимание людей и их мотивации. В первую очередь необходимо позаботиться о том, чтобы все сотрудники компании усвоили принцип – за качество отвечает каждый. Обеспечение качества для потребителя должно определять систему ценностей организации, в данном аспекте нет места компромиссам, поскольку компания остается жизнеспособной

только благодаря тому, что создает добавленную ценность для потребителя, и именно это позволяет ей зарабатывать деньги, а сотрудникам сохранять свои рабочие места. Успех компании определяется прежде всего тем, что, разрабатывая стратегию, выстраивая отношения с поставщиками и обеспечивая существование обучающейся организации, происходит непрерывное совершенствование лидерства, работы команд и культуры бизнеса [7].

Сущность бережливого производства не в том, чтобы копировать инструменты корпорации Toyota, разработанные для конкретного производственного процесса, а создавать принципы, как говорится, на месте, в той организации, где они будут применяться, и придерживаться их, эффективно создавая добавленную ценность для потребителей и общества. Только таким образом организация сможет стать рентабельной и конкурентоспособной.

Бережливость – это не программа, а суть менеджмента, т. е. менталитет сотрудников компании. В первую очередь менталитет ее руководства. Именно руководители должны избавлять бизнес процессы от мусора. Ну, если не сами, то по крайней мере с помощью людей, умеющих это делать.

Российская культура в целом еще достаточно далека от понятия «бережливость». Идеи и методы бережливого производства могли бы сыграть решающую роль в трансформации российской промышленности и приближении ее к уровню современных развитых стран. Переход от массового производства к бережливому во многих случаях не требует особо серьезных вложений. Не всегда, но достаточно часто нет необходимости закупать новое дорогостоящее оборудование, переходить на новые материалы и технологии. Зачастую достаточно всего лишь изменить культуру управления предприятием, систему взаимоотношений между различными уровнями и подразделениями предприятия, систему ценностной ориентации сотрудников и их взаимоотношения. Альтернатива, которую предлагает бережливое производство, – это переосмысление роли функциональных служб, отделов и всей фирмы с тем, чтобы все вносили свою лепту в создание ценности, а также, чтобы их работа соответствовала реальным потребностям сотрудников на всем протяжении цепочки создания ценности [9]. Суть бережливости заключается в особом подходе к производству: чтобы добиться определенных результатов, необходимо изменить свое представление о процессе создания продукта, уйти от стандартного мышления партиями к мышлению потоком, ориентироваться не на краткосрочную выгоду, а на долговременную стабильную работу компании. Не следует стремиться применять сложные инструменты статистического анализа, в данном случае действует принцип «чем проще, тем эффективнее». Самое главное – это понять суть, расшифровать внутренний секретный код, и когда наступит понимание принципов действия всего механизма, необходимо немедленно применять его на практике. Несмотря на то, что возникнет множество трудностей и вопросов, стоит взяться за созда-

ние собственной версии культуры бережливого производства. Это вполне достижимая цель, и существуют достаточно успешных примеров для подражания.

Для повышения эффективности функционирования предприятий наряду с применением принципов бережливого производства важная роль отводится информационным технологиям [10]. На сегодняшний день от производственной системы требуется высокая гибкость и адаптивность, обоснованность в принятии управленческих решений, что приводит к пониманию необходимости интеграции данных инструментов для обеспечения достижимости планируемых результатов. Таким образом, комплексное применение принципов бережливого производства и информационных технологий позволит добиться повышения эффективности управления предприятием и обеспечения сильных конкурентных преимуществ в рыночных условиях.

Библиографические ссылки

1. Лайкер Джефффри К., Хосеус Майкл. Корпоративная культура Toyota. Уроки для других компаний : пер. с англ. – М. : Альпина Паблишер, 2011. – 354 с. – (Модели менеджмента ведущих корпораций).
2. Лайкер Джефффри К., Майер Дэвид. Практика Дао Toyota. Руководство по внедрению принципов менеджмента Toyota : пер. с англ. – М. : Альпина Паблишер, 2014. – 586 с. – (Модели менеджмента ведущих корпораций).
3. Вумек Джеймс П., Джонс Дэниел Т. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании : пер. с англ. – 2-е изд. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2005. – 473 с.
4. Лайкер Джефффри К. Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира : пер. с англ. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2005. – 402 с. – (Модели менеджмента ведущих корпораций).
5. Krafcik John. Triumph of the Lean Production System // MIT Sloan Management Review. – 1998. – No. 1. – Pp. 41–52.
6. Коршунов А. И., Якимович Б. А. Показатель конструктивно-технологической сложности машиностроительного изделия // Известия ТулГУ. Серия «Экономика. Управление. Стандартизация. Качество». – Вып. 1 // Избр. тр. участников Первой Междунар. электронной науч.-техн. конф. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2004. – С. 3–7.
7. Осано Эми, Симидзу Норихико, Такеучи Хиротака. Экстремальная Toyota. Парадоксы успеха японского менеджмента : пер. с англ. – М. : Альпина Паблишер, 2011. – 288 с.
8. Кузнецов А. П., Замятин К. И. Усовершенствованная модель синтеза вариантов технологического обеспечения структур-стратегий производственных систем машиностроения. // Вестник ИжГТУ. – 2013. – № 4(60). – С. 40–43.
9. Еришова И. В., Клюев А. В. Философия бережливого производства // Компаньон. – 2010. – № 3(8). – С. 108–110.
10. Bozek P., Korshunov A. I. The new system of control and verification in virtual scene // Вестник ИжГТУ. – 2014. – № 3(63). – С. 168–171.

M. A. Razzhivina, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

B. A. Yakimovich, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. I. Korshunov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Lean Production Concept – Specific “Genetic Code”

The article is devoted to industrial management based on the principles of lean production of Toyota Company. The article presents basic terms, definitions and steps of lean production management. The article considers the key issues of conception implementation complexity at Russian enterprises and possibilities of their solution.

Keywords: lean production concept, value stream, loss of production, principle of pulling, improvement of the effectiveness, muda.

Получено 21.10.2014